

# 逆転式熱間圧延機電気設備の自動制御 (その1)

## The Automatic Control of Electric Equipment for the Reversing Hot Steel Mill (No. 1)

前 川 敏 明\* 小 野 田 芳 光\*

### 内 容 梗 概

逆転式熱間圧延機は頻繁な加減速、あるいは正逆転を行い生産能率向上のために電動機の加減速、正逆転をきわめて短時間に行う必要がある、その自動制御装置の性能の適否が重要な問題となる。

一般に基準速度（ペーススピード）以内の制御は発電機の急速励磁装置によるが、高速運転のためには電動機界磁弱め制御が併用される。ところがこれらの急激な励磁変化のため、あるいは負荷の条件によつて電動機に過大な電流が流れることがあるため、過電流制限装置が必要である。界磁が弱められている場合には特にこの装置を必要とすることが多い。

つぎに大型圧延機になると双電動機駆動方式が用いられるが、この場合には負荷平衡装置が必要である。

以上基準速度以内における速度制御、電動機界磁弱め制御を含む場合の速度制御、および負荷平衡制御の3つは分塊圧延機自動制御のうちで特に重要な問題である。われわれはこれらを理論的に検討して理想とする特性を明らかにし、その理想を目標にした制御装置を組立て実験的検討を行った。実験結果として従来例に比し相当すぐれた特性のものをうることができた。

本論文は以上の研究結果を大別して、第1編に概論、第2編に急速励磁装置（基準速度以内の加減速制御について）、第3編に急速加減速装置（最高速度までの加減速、電流制限装置を含む）、第4編に負荷平衡装置についてのべる。

## 第1編 概 論

### 〔I〕 緒 言

逆転式熱間圧延機は頻繁な加減速あるいは正逆転を行い圧延能率の向上のためにこの加減速あるいは正逆転に要する時間を極力短縮する必要がある。

圧延初期には圧延素材が短いため定速運転期間が非常に短く、作業時間の大部分が加減速のために費やされるからこの要求は特に強い。圧延がある程度進んでくると圧延素材も長くなり定速運転期間の占める比率が増大してくるため高速度運転をする必要がある。また圧延初期にはロールの圧下を大きくするため電動機の所要トルクが大きい、圧延終期には圧下量が少く、したがって所要トルクも小さい。

以上のことから圧延機用電動機は速度制御にはつぎのような2つの方法が併用される。すなわち初期圧延用としては、電動機界磁を全励磁しておき、もつぱら発電機電圧の制御によつて速度制御を行う。この場合の最大速度を基準速度といっている。圧延後期に至つて発電機電圧最高状態からさらに電動機界磁を弱めて速度をあげ、圧延速度の増大を計る。この場合の最高速度は通常基準速度の約2倍にとられる。

上記のように基準速度以下の運転中は発電機の電圧制御によつて速度制御を行うから、このときの急速加減速はとりもなおさず発電機の急速励磁制御の遂行によつて果される。そしてこの範囲内においては急速性というこ

とがもつとも強く要望される。この場合を以下「急速励磁制御」と呼ぶことにする。

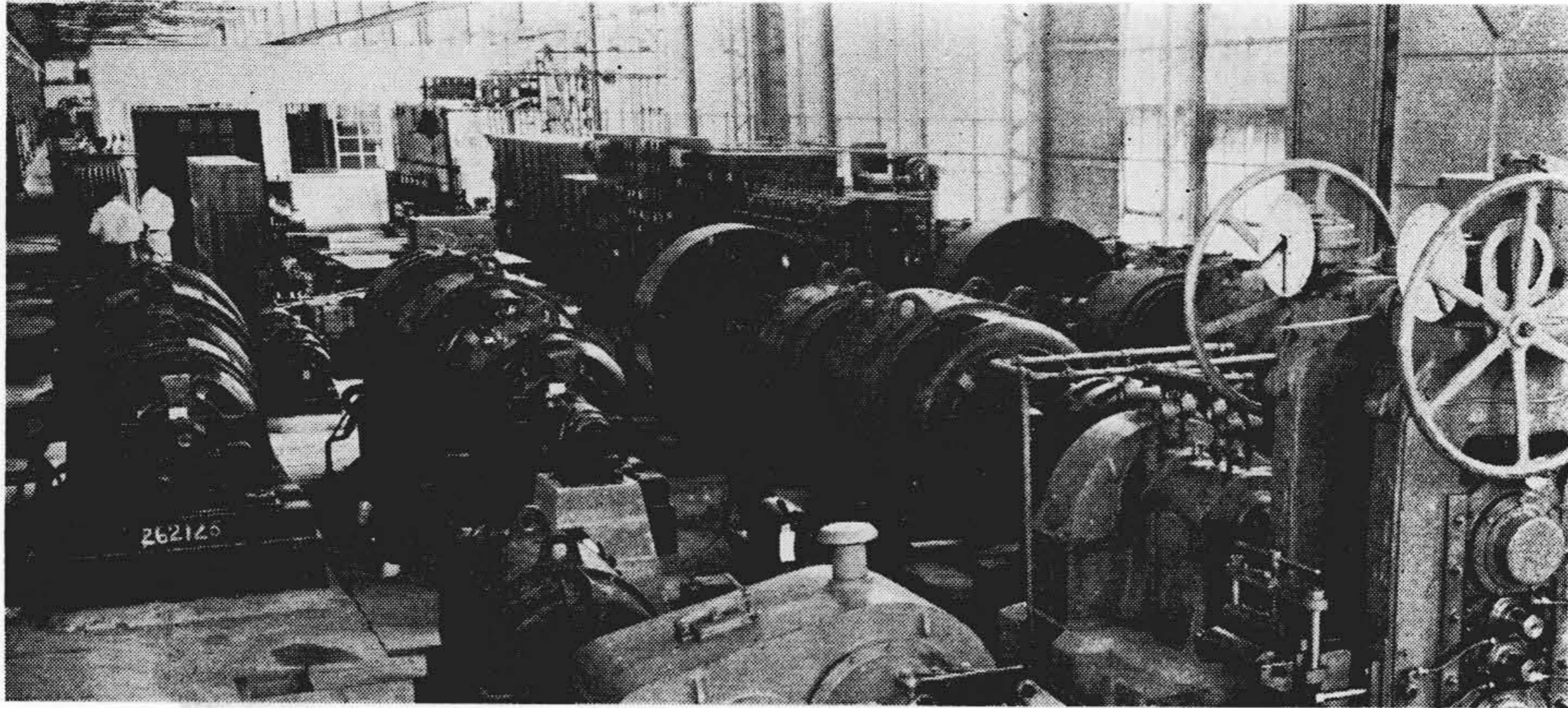
つぎに基準速度以上の速度制御を行う場合は圧延速度の増大が主目的となり加減速の急速性は二次的要素となるが、速い程よいことは勿論である。しかし電動機の励磁電力は一般に発電機側に比べ大きい（圧延用電動機は一般に低速機となるため）急速な変化が困難であり、また電動機の励磁変化と電圧変化を同時に行う場合の特性は複雑である。過電流制限装置を必要とすることも主としてこの動作域において多い。この場合については以下「急速加減速制御」と呼ぶことにする。

つぎに大型圧延機の場合には上ロールと下ロールを別々の電動機で駆動する方式、すなわち双電動機駆動方式が用いられる。双電動機駆動方式の利点はカムワルツなどを必要としないこと、上下ロールの直径が多少異つても電動機の方で適当に調整して使用しうることなどである。しかしこの方式をとる場合には電動機側としては、上下2台の電動機の「負荷平衡制御」を必要とする。

本報告には大体上記の3項目すなわち「急速励磁」「急速加減速」「負荷平衡」に大別してのべてある。第1編にはこれら全部の概要をのべ、第2～4編に順次項別に詳論する予定である。

なおこの研究は150 kW程度の直流機を主機とした実験装置を用いて行つたが、目標を数千kW以上の圧延機にしているため、実験装置の計画はすべて伝達函数的に10,000 HP級の機械と相似化している。第1図（次頁参照）は実験設備の概観である。

\* 日立製作所日立研究所



第 1 図 実験設備の外観

Fig. 1. View of Experimental Equipment

〔II〕 急速励磁装置

(1) 急速励磁の理想特性

これは前述のように発電機の電圧を急速に変化させるための制御装置であるが、終局的目標は電動機速度を急速に加減速することにある。したがって電動機の機能を完全に活かした急速加減速を行うためにはいかなる電圧変化をあたえるべきかということから問題は出発する。この場合の理想特性を一言でいえば、電動機電流を許容最大値以内におさえつつできるだけ速く加減速を完了するような特性である。

電動機電流  $I_M$  はほぼ加速度  $\alpha$  に比例するから、 $I_M$  の最大値  $I_{Mmax}$  があたえられると  $\alpha$  の最大値もきまり、それ以上の急加速はできない。すなわち、常に  $\alpha = \alpha_{max}$ 、いかえれば  $I_M = I_{Mmax}$  で加速するのが理想的で、その場合の加速所要時間  $\tau_{\alpha th}$  は、

$$\tau_{\alpha th} = \frac{Q}{I_{Mmax}} \dots\dots\dots (1.1)$$

であらわされる。 $Q$  は加速電流の積分値すなわち加速電気量で一つの設備については一定値である。またこの場合の  $I_M(t)$  は高さ  $I_{Mmax}$  の矩形状電流であり、電動機の端子電圧すなわち発電機の電圧  $V_G$  はほぼ時間とともに直線的に変化するような電圧でなければならない。理想特性を第 2 図に示す。

(2) 実際の特性と理想特性との関係

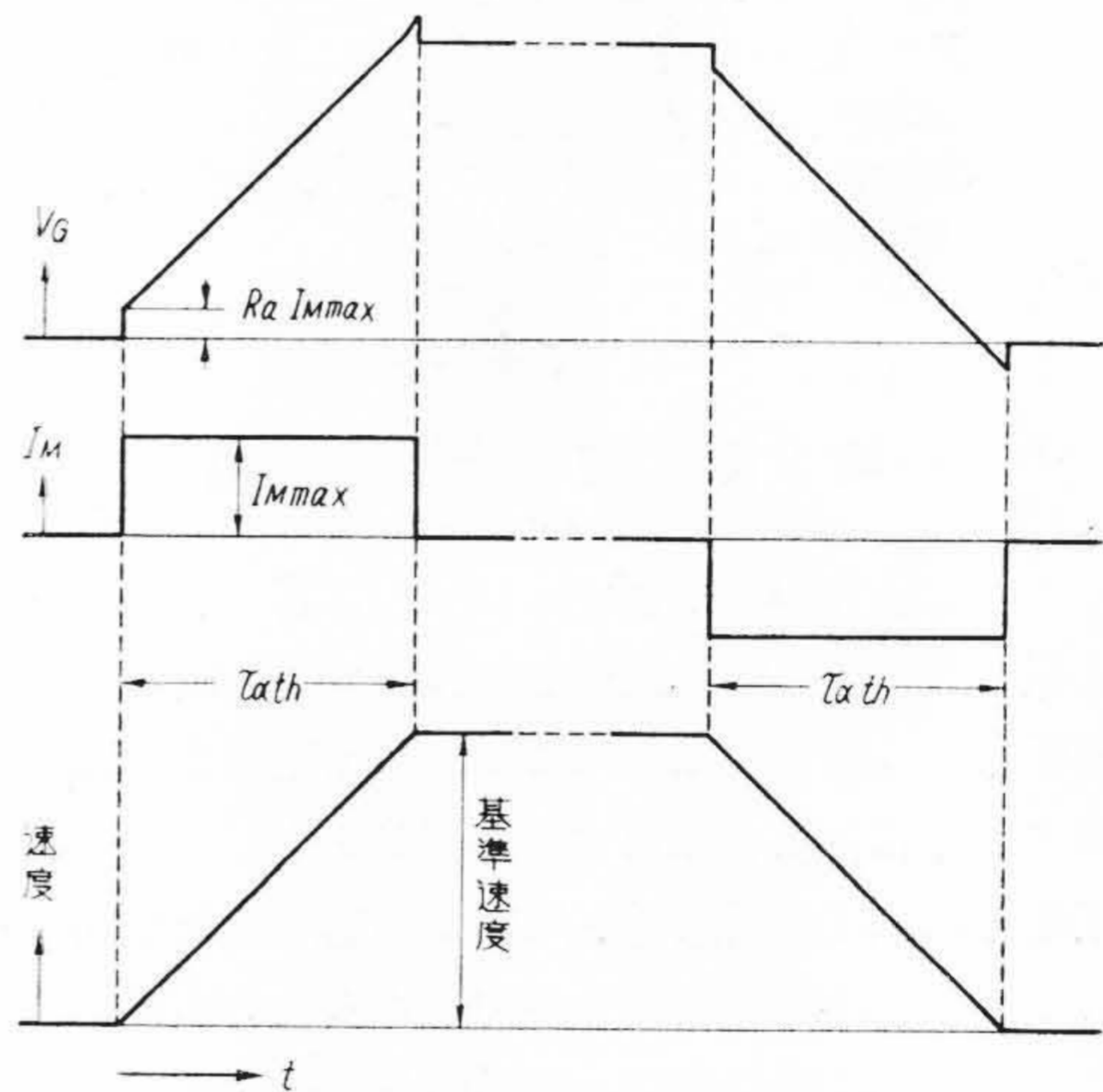
(1.1) 式は理想的加速所要時間を示すが、実際にはほとんど不可能な特性である。可能な所要時間  $\tau_\alpha$  を

$$\tau_\alpha = k_\alpha \tau_{\alpha th} \dots\dots\dots (1.2)$$

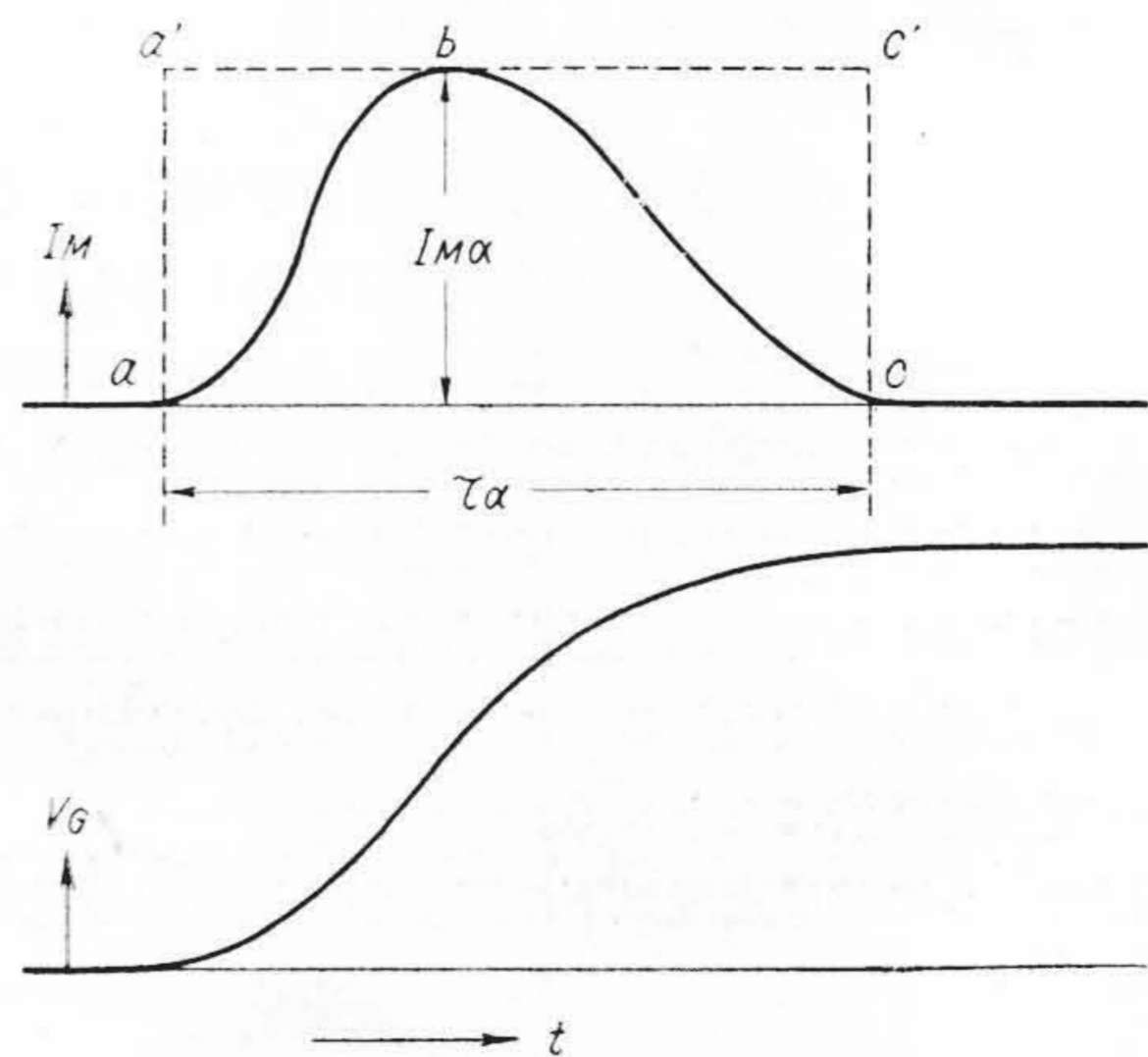
であらわし、実際の加速電流波形が第 3 図のような場合には

$$k_{\omega\alpha} = k_\alpha \frac{I_{M\alpha}}{I_{Mmax}} \dots\dots\dots (1.3)$$

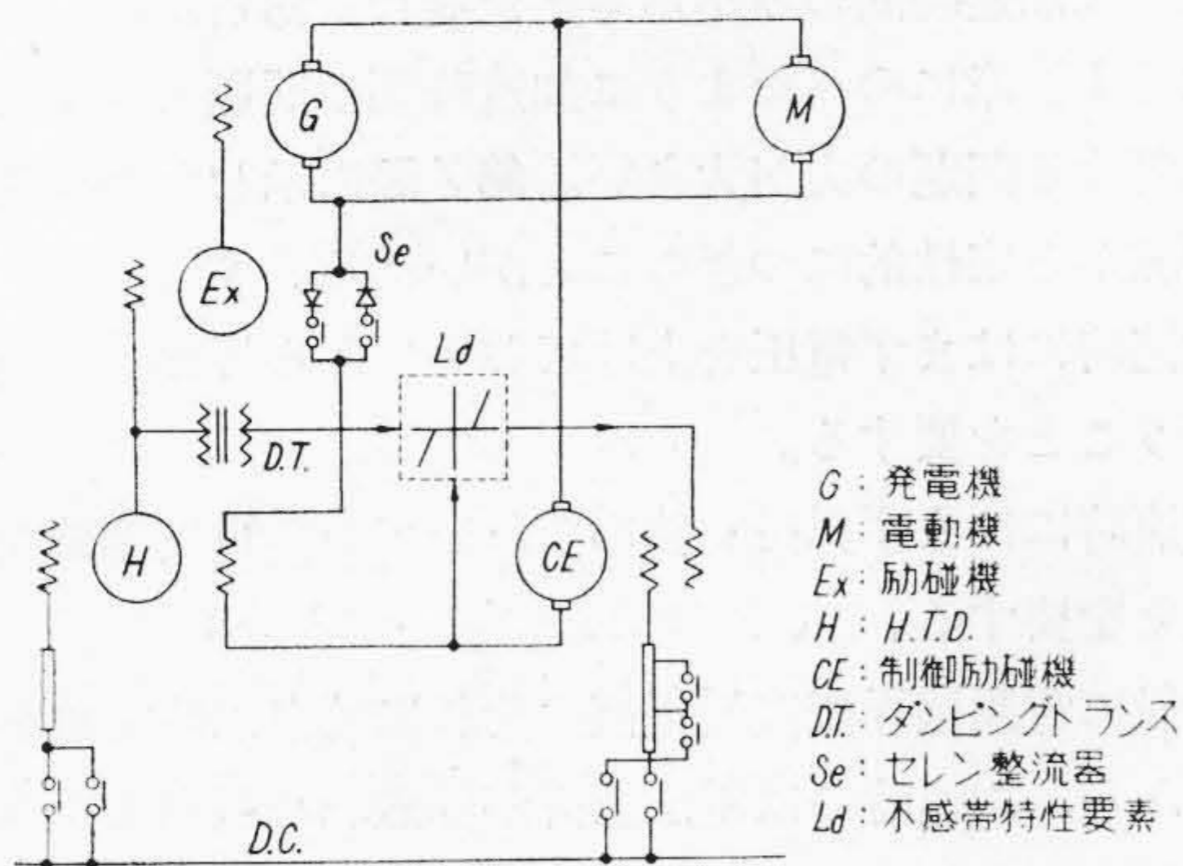
とおけば



第 2 図 理想的急速励磁特性曲線  
Fig. 2. Ideal Characteristic Curves of Quick Excitation



第 3 図 実際に現われやすい急速励磁特性曲線  
Fig. 3. Quick Excitation Curves Often Appearing in Actual Performance



第4図 急速励磁装置概略結線図  
Fig. 4. Schematic Connection Diagram of the Quick Excitation Device

$$k_{\omega\alpha} = \frac{\tau\alpha I_{M\alpha}}{Q} = \frac{\text{面積 } aa'c'c}{\text{面積 } abc} \dots\dots\dots (1.4)$$

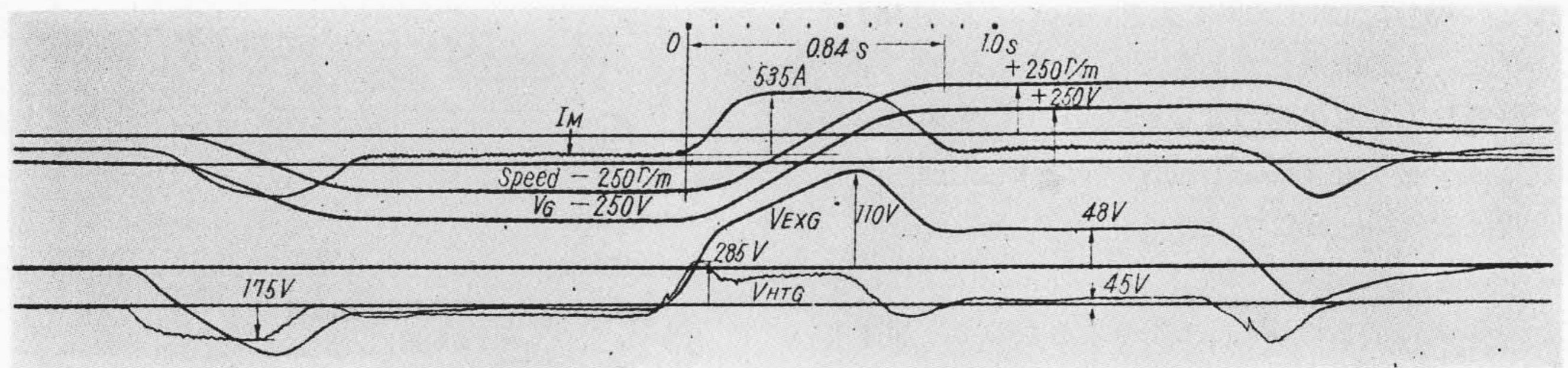
である。この係数  $k_{\omega\alpha}$  は (1.4) 式により実際の電流波形から求めることができる。 $k_{\omega\alpha}$  は制御の良さをあらわす係数でこれが小さいほどよく (最小値は1), また  $\tau\alpha$  が小さいほどよいことはもちろんである。

一般に  $\tau\alpha$  を小さくすると  $k_{\omega\alpha}$  が大きくなりやすいが、 $I_{M\max}$  になるように調整すれば、その制御装置によつて可能な急加速の限度となる。制御装置の改良により  $k_{\omega\alpha}$  を小さくすることができれば、同一電動機を用いてさらに速い加速が可能になる。

(3) 実験装置と結果

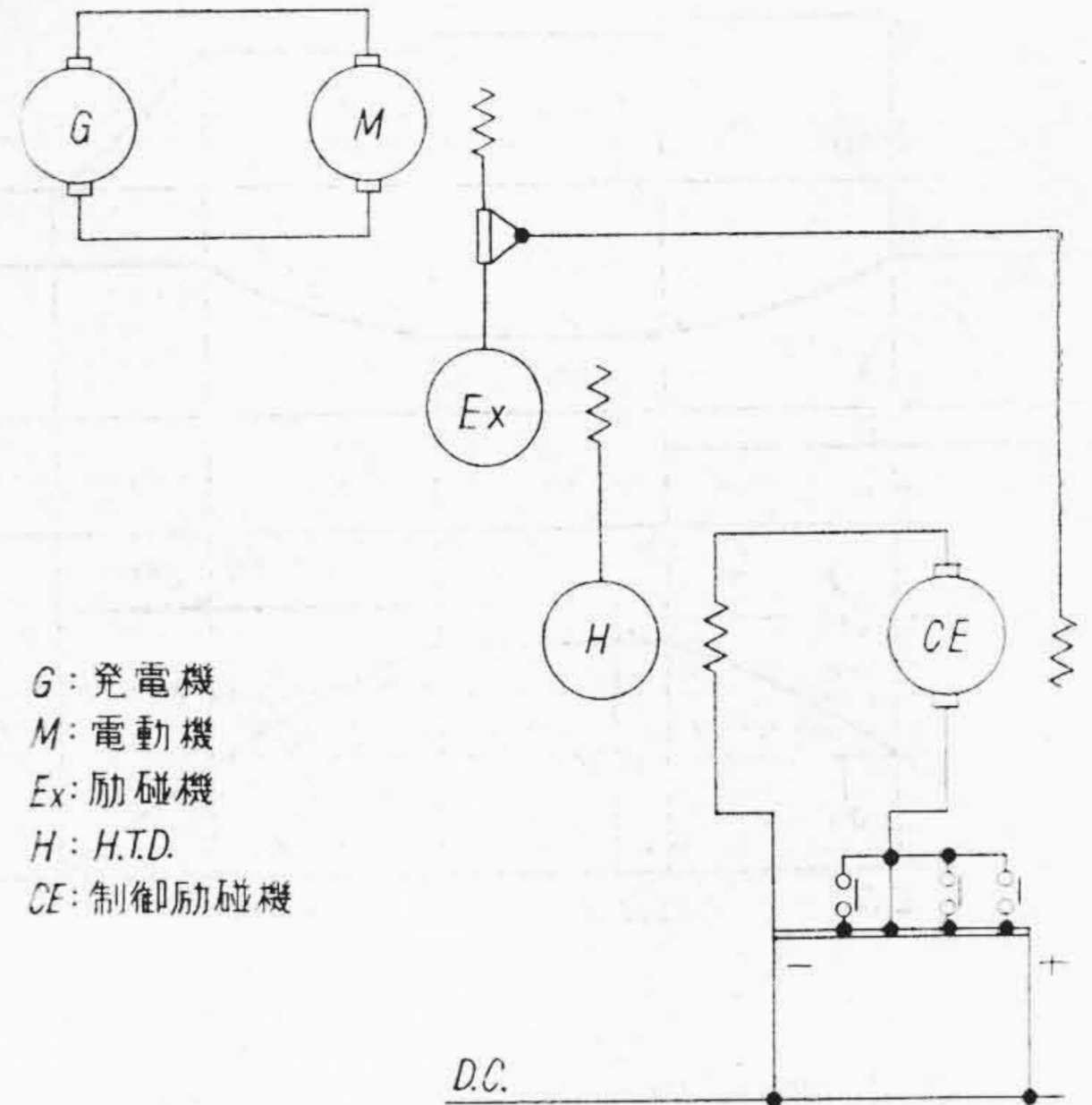
第4図は前述の理想目標に対して組立てた実験装置の略図である。フィードバック回路の整流器  $S_e$ , ダンピングトランス D.T. の二次側の不感帯特性  $L_d$ , (不感帯域が、GとCEとの電圧差に比例してかわる。)などによつて発電機Gの電圧上昇が直線性を保ちつつ極力速くなるように調整してある。

この実験結果を第5図に示す。図から  $\tau\alpha=0.84$  秒,  $k_{\omega\alpha}=1.25$  である。従来発表されている例から  $k_{\omega\alpha}$  を求めると 1.3~2.0 程度で,  $\tau\alpha$  も 1.0~2.0 秒の間のもの



$I_M$ : 電動機 電流  
 $V_G$ : 発電機 端子電圧  
 $V_{EXG}$ : 発電機用励磁機端子電圧  
 $V_{HTG}$ : H.T.D. の端子電圧

第5図 急速励磁制御のオシログラム (停止→⊖ 基準速度→⊕ 基準速度→停止)  
Fig. 5. Oscillogram Showing Quick Excitation (stop→⊖ base speed→⊕ base speed→stop)



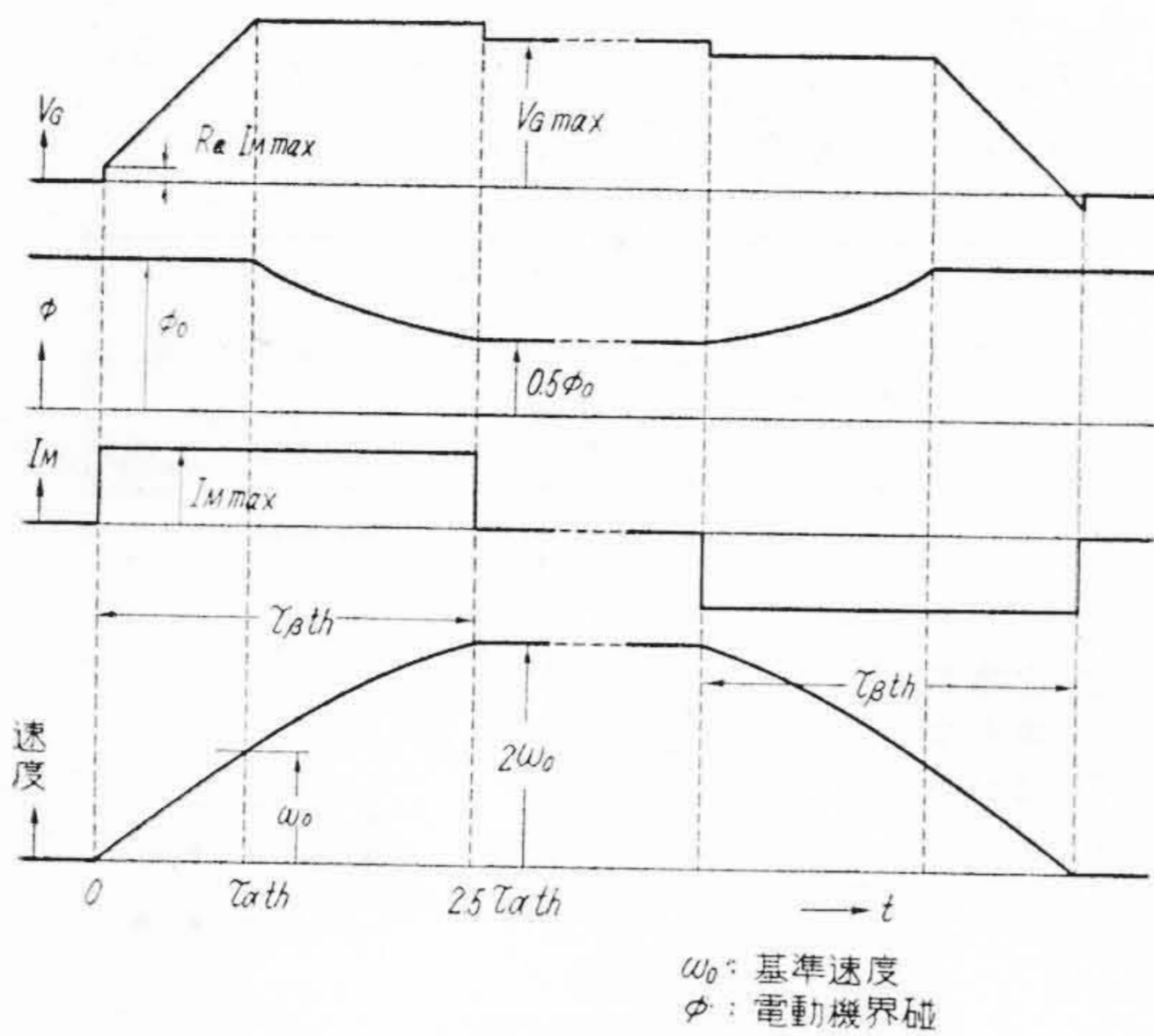
第6図 電動機界磁制御装置概略結線図  
Fig. 6. Schematic Connection Diagram of the Motor Field Control Equipment

が多いが、今回の実験結果はこれらを十分上まわるものと考えられる。

〔III〕 急速加減速装置

(1) 急速加減速の理想特性

基準速度までは発電機の急速励磁によつて加減速するが、それ以上は電動機の界磁を弱めて速度をあげる。普通電動機界磁を約 50% 程度に弱めるが、この界磁制御もできるだけ速応的なものが必要であるから、第6図のような速応制御装置が用いられる。速度零から最高速度まで加減速するには、前章の急速励磁装置とこの電動機界磁制御装置とを同時に用いるが、この場合には両者の動作に適切な関係がなければ良好な加減速制御ができない。このときの理想的加減速特性も、前者と同じく電動機の電流を許容最大値以下におさえつつ、できるだけ速く加減速を完了するような特性であるということができ



第 7 図 理想的急速加減速特性曲線  
Fig. 7. Ideal Characteristic Curves of High Acceleration

る。

理論的検討によれば理想的加減速を行うため発電機の電圧および電動機の界磁の強さは第 7 図のような変化をする必要がある。この場合の加速所要時間  $\tau_{\beta th}$  は、

$$\tau_{\beta th} = 2.5 \tau_{ath} \dots\dots\dots (1.5)$$

ただし  $\left\{ \begin{array}{l} \tau_{ath}: \text{基準速度までの理想加速時間} \\ \text{(最大速度)} = (\text{基準速度}) \times 2 \\ \text{電機子電流許容最大値を加速時間中} \\ I_{M \max} \text{ の一定値とする。} \end{array} \right.$

発電機電圧と電動機界磁電流の変化との時間的關係が第 7 図以外の形であれば、たとえ電機子電流が  $I_{M \max}$  一定の矩形波であつても加速所要時間は  $2.5 \tau_{ath} \sim 4.0 \tau_{ath}$  にのびる。この点は前章の場合と大いに異なる点である。

(2) 実際の加速特性

$\tau_{\beta th}$  は理想的最小加速時間であるが、実際の加速時間  $\tau_{\beta}$  はこれよりも長くなる。

$$\tau_{\beta} = k_{\beta} \tau_{\beta th} \dots\dots\dots (1.6)$$

とおくと、 $k_{\beta}$  は当然 1 よりも大きい、これが 1 に近いものほどよい制御系といえる。

また許容最大加速電流  $I_{M \max}$  のかわりに実際に流れた加速電流の最大値  $I_{\beta \max}$  を用いて計算した理論的最小加速時間を  $\tau_{\beta' th}$  とし

$$\tau_{\beta} = k_{w\beta} \tau_{\beta' th} \dots\dots\dots (1.7)$$

とする。 $k_{w\beta}$  は前章の  $k_{w\alpha}$  に相当するもので、加速電流に無関係に制御系のよさのみを論ずる場合に用いると都合がよい。ただし  $k_{w\beta}$  は電動機の界磁が変化しているから  $k_{w\alpha}$  と異り必ずしも電機子電流波形をあらわすものではない。

以上は加速時間のみから考えた場合であるが、このときは [I] 章にのべたように加速時間の問題よりも過電流に対する問題の方が大きい。第 7 図に示した加減速特性曲線から定性的につぎのことがいえる。すなわち

加速時にはまず電圧を上げておいてから界磁弱め制御を行うことを要する。

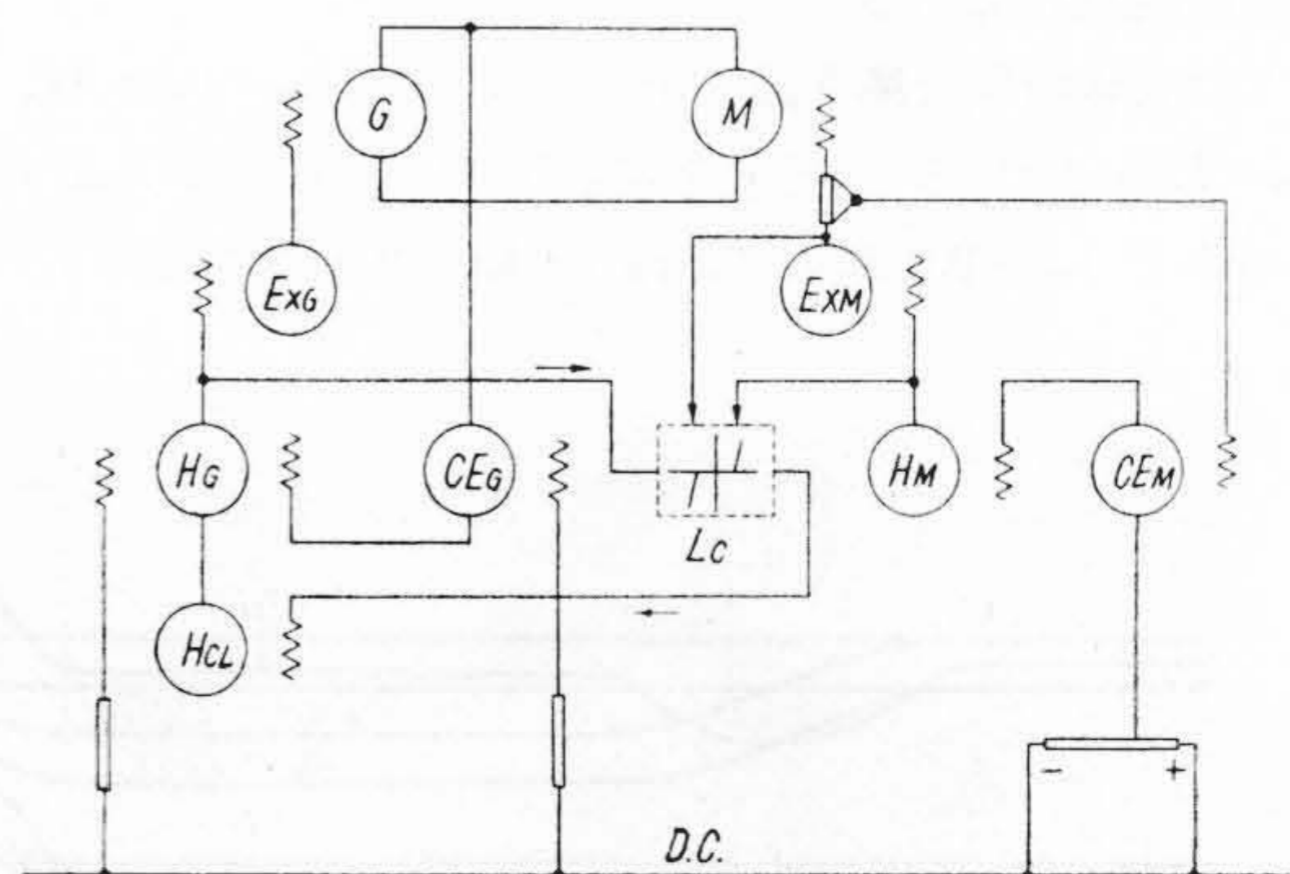
減速時にはまず界磁を強めておいてから電圧制御を行うことを要する。

一般に電動機界磁は発電機のそれにくらべ時定数が大きいから、加速時には電圧上昇が界磁弱め制御よりさきになり上の条件に適合する傾向になる。ところが減速時には界磁強め制御がおくれる傾向があるため上の条件に反するようになりやすい。界磁が弱い状態において電圧変化をうけると、電動機電機子電流は異常に過大となる。したがつてこの場合の過電流をおさえる方法を考えておかねば円滑な運転が不可能である。過電流制限装置を別箇に考えることもできるが、それよりも過電流にならないようにすること、すなわち前記のような条件にかなうような加減速制御を行う方が合理的であろう。

(3) 実験装置と結果

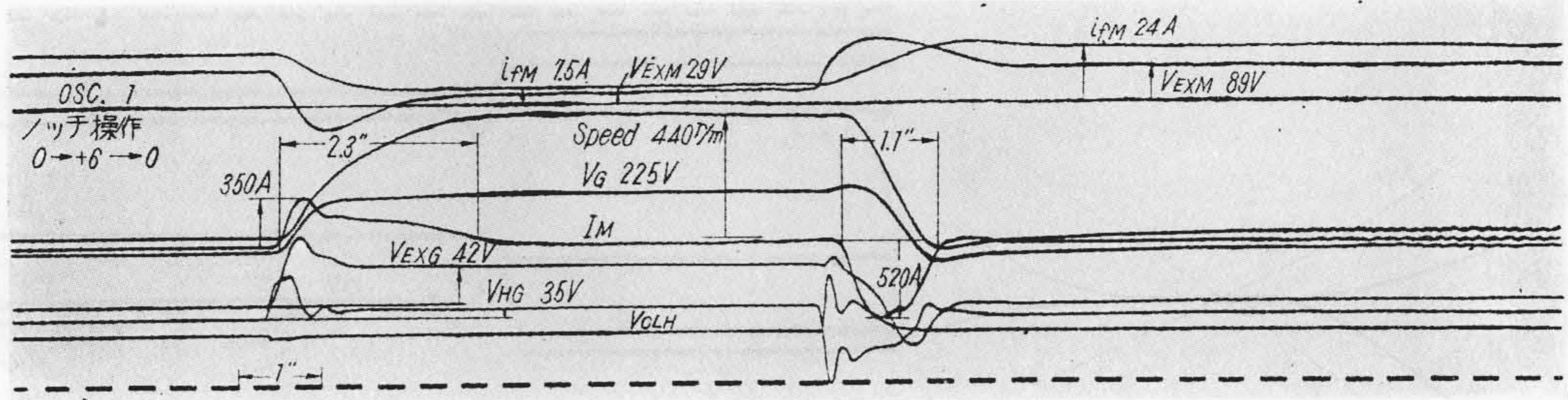
第 8 図は前述の諸条件を考えて組立てた制限装置の概略図である。電動機側の増幅発電機  $H_M$ 、励磁機  $E_{XM}$  などの電圧によつて制限値を調整される不感帯特性  $L_0$  と、その不感帯特性を通じて、発電機側主増幅発電機  $H_G$  の端子電圧によつて励磁される電流制限用増幅発電機  $H_{CL}$  との作用によつて円滑な減速制御が行われる。すなわち、減速指令が発電機側、電動機側両方に同時にあたえられた場合には、電動機側の界磁強め制御がほぼ完了するまで発電機側の制御をしばらく待機させておく。

このような制御は限時継電器、過電流継電器などの特



サフィックス G は発電機側制御器機  
" M は電動機 "  
Hcl : 電流制限用 H.T.D.  
Lc : 不感帯特性要素  
その他の記号は第 14, 16 図参照

第 8 図 急速加減速装置概略結線図  
Fig. 8. Schematic Connection Diagram of High Acceleration



$i_{fM}$  : 電動機界磁電流  
 $V_{EXM}$  : 電動機用励磁機電圧  
 $V_G$  : 発電機電圧  
 $I_M$  : 電動機電流  
 $V_{EXG}$  : 発電機用励磁機電圧  
 $V_{HG}$  : 発電機用 H.T.D. 電圧  
 $V_{CLH}$  : 電流制限 H.T.D. 電圧

第9図 急速加減速制御のオシログラム (停止→最高速度→停止)  
 Fig. 9. Oscillogram Showing High Acceleration (stop→full speed→stop)

殊器具を使つて行くこともできるが、この実験装置は基本動作にそれらを用いることなく目的を達し、信頼性を上げたところに特長がある。

過負荷による過電流に対しては、本装置の不感帯要素へ電機子回路の電圧降下分を適当に入れるだけで目的を達しうる。

実験結果の一例を第9図に示す。これから、加速時間は2.3秒、 $k_{\omega\beta}$ は2.0で、減速時間は1.1秒、 $k_{\omega\beta}$ は1.43であることがわかる。また減速時の電機子電流は、 $H_{CL}$ を用いない場合の電流の49.5%におさえられる。

#### [IV] 負荷平衡装置

双電動機駆動方式においては上ロール用電動機と下ロール用電動機の負荷電流をたがいにひとしく、または適宜の比率になるように平衡させることが必要である。これには電動機界磁電流を調整する方式と、それぞれの電動機に別箇の発電機を附属させ両発電機の電圧差調整による方式とが考えられる。

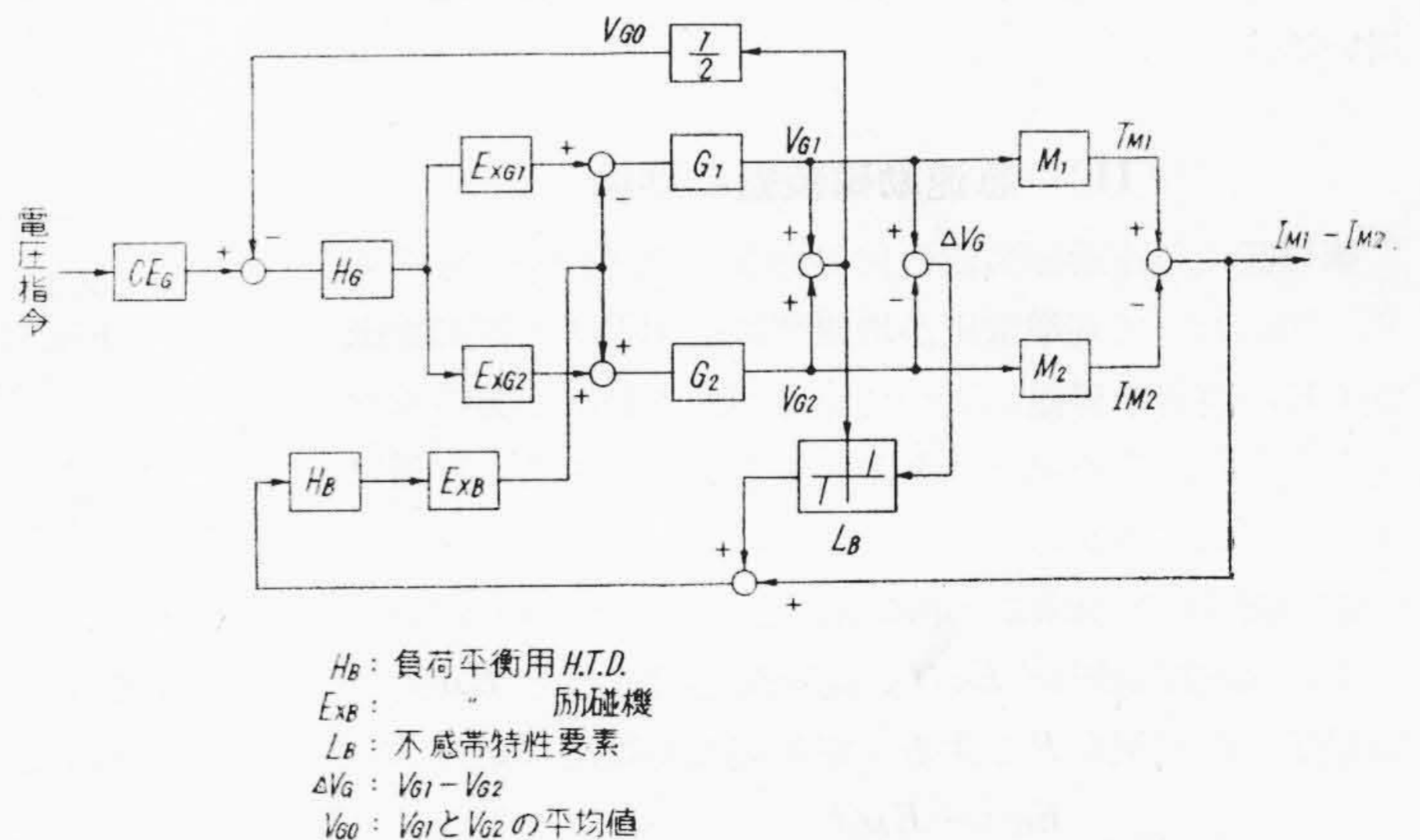
前にもしばしばのべたように、電動機界磁を調整するよりも発電機電圧を調整する方が電力も小さく速応性もよい。また双電動機駆動方式を用いるような大型機の場合は大体発電機も単機ではない。圧延特性の上からは、上下ロール径のちがいに對し種々の説も行はれているがわれわれは発電機を上下ロール用の2群にわけて発電機電圧差調整による負荷平衡方式をとり、負荷電流を任意の比率に調整しうるようにした。

負荷平衡装置にはその名の示す通り両電動機の負荷電流を平衡させる制御回路が必要であるが、なおそのほかに

両発電機電圧差を必要以上に大きくしないような制限回路が必要である。電動機界磁調整方式による負荷平衡装置においても類似の制限回路が必要なことは勿論である。

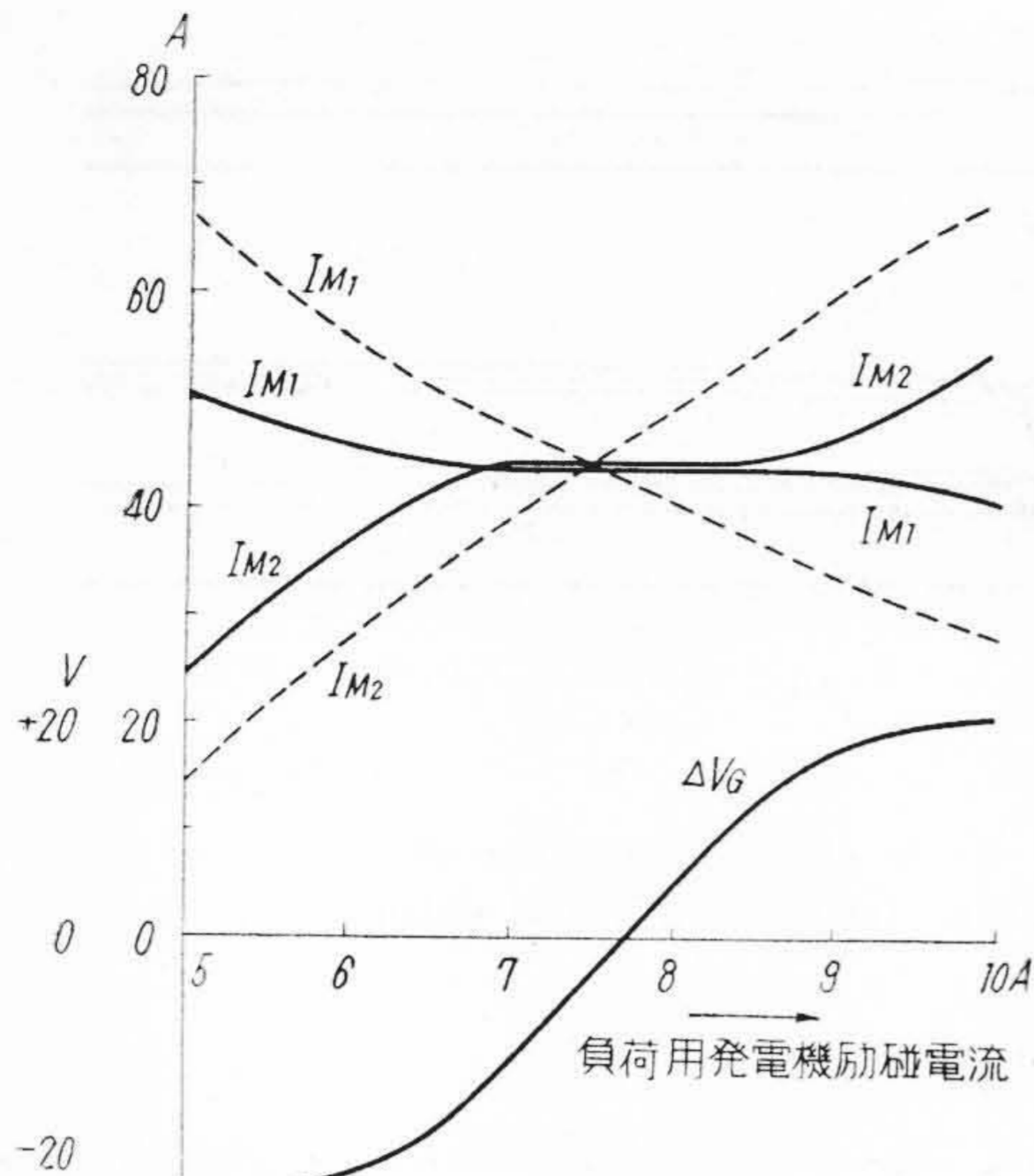
第10図は負荷平衡装置の説明用ブロック線図である。 $M_1, M_2$ の負荷電流に差ができると $H_B$ を励磁して、 $G_1, G_2$ を互に逆方向に励磁し両発電機の電圧を変えて $M_1, M_2$ の負荷電流がひとしくなるように制御する。ところが、 $M_1, M_2$ が無負荷の場合には発電機電圧 $V_G$ が変つても負荷電流 $I_M$ はほとんど零で変化しないから、上記の電流平衡制御系は開かれているにひとしい状態となる。このときなんらかの原因で $V_{G1}$ と $V_{G2}$ にはなほだしい差ができたとしてもこれをおさえるものはない。このため第10図において( $\Delta V_G \rightarrow$ 不感帯要素 $L_B \rightarrow H_B$ )なる電圧差制限回路を設けて $\Delta V_G$ を適当に制限する。この制限値は $V_G$ の大きさや負荷平衡設定点の変更などに応じて合理的に変化するような回路にした。

実験結果を第11図および第12図 (次頁参照) に示す。



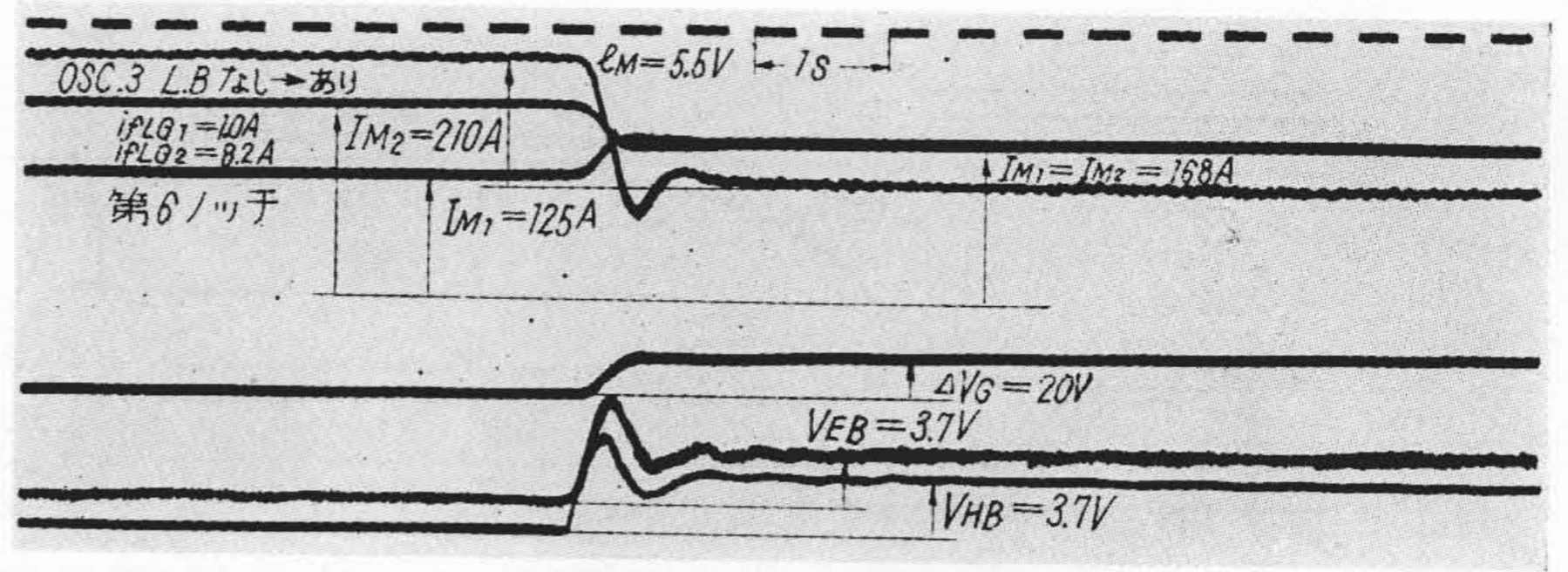
$H_B$  : 負荷平衡用 H.T.D.  
 $E_{XB}$  : " 励磁機  
 $L_B$  : 不感帯特性要素  
 $\Delta V_G$  :  $V_{G1} - V_{G2}$   
 $V_{G0}$  :  $V_{G1}$ と $V_{G2}$ の平均値

第10図 負荷平衡装置のブロック線図  
 Fig. 10. Block Diagram of Load Balance System



電動機平均速度 210 rpm  
 発電機平均電圧 225 V  
 $\Delta V_G$  は両発電機の電圧差  
 点線は負荷平衡装置なき場合

第 11 図 負荷平衡装置の静特性  
 Fig. 11. Static Characteristic Curves of the Load Balance Equipment



$I_{M1}$ : 上ロール用電動機電流  
 $I_{M2}$ : 下ロール用電動機電流  
 $I_M$ : 負荷検出電圧  
 $\Delta V_G$ : 両発電機の電圧差  
 $V_{EB}$ : 負荷平衡励磁機電圧  
 $V_{HB}$ : 負荷平衡 H.T.D. 電圧

第 12 図 負荷平衡制御のオシログラム  
 Fig. 12. Oscillogram Showing Load Balance

第 11 図は静特性の一例で、電動機  $M_2$  の負荷を増し、 $M_1$  の負荷を減らして行つた場合の負荷電流を示すもので、負荷電流平衡装置の動作している中央附近、電圧差制限回路が働いている両側附近の様子が明らかである。第 12 図は電動機をあらかじめ不平衡負荷状態にしておき、負荷平衡装置を投入した場合の制御経過を示すものである。

## 第 2 編 急速励磁装置の研究

### 〔I〕 緒 言

逆転式熱間圧延機電気設備の自動制御の中で急速励磁装置はもつとも重要で、かつ基本的なものである。

こゝでは、急速励磁装置の理想的性能とはいかなるものかを考え、この理想的性能を達成するために制御系の各要素がどのような動作をすべきか理論的にもとめ、かつ実験結果の一例を示す。(単位は M.K.S. 有理化系を用いる。)

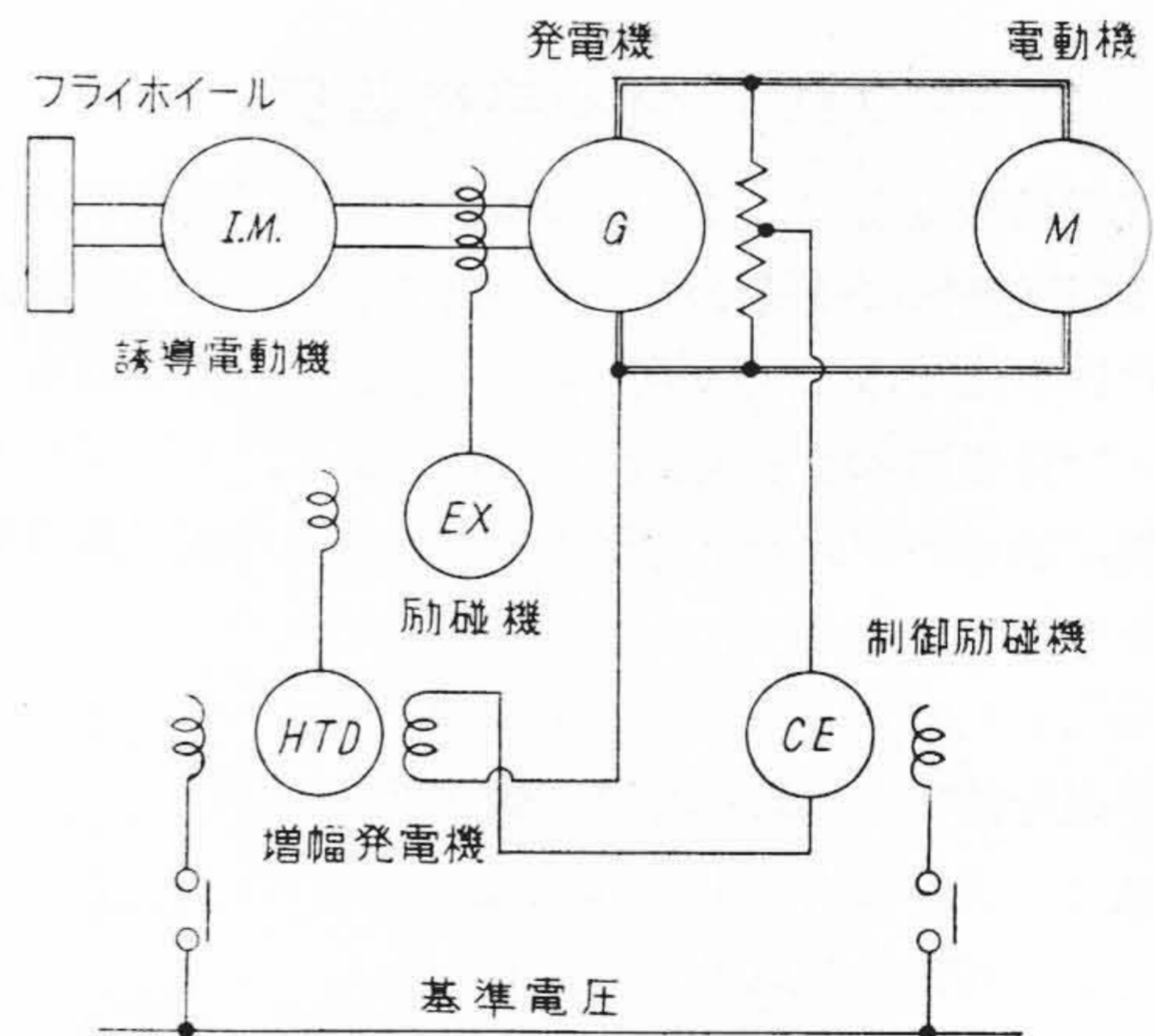
### 〔II〕 急速励磁装置の理論

第 13 図は急速励磁装置の代表的な主要機の配列である。図において基準電圧が増幅発電機 HTD と制御励磁機 CE の両者の界磁に入っているが、これは一方のみの場合もあり、その場合でも差支えないのであるが普通は図のように二つある。

電動機  $M$  の界磁は一定に励磁されているものとする。いま、発電機電圧を  $E_G(t)$ 、電動機逆起電力を  $E_M(t)$ 、電機子回路抵抗を  $R$  とすると電動機入力電流  $I_M(t)$  は

$$I_M(t) = \frac{E_G(t) - E_M(t)}{R} \dots\dots\dots (2.1)$$

電動機が無負荷であれば、この電流は電動機を加速す



第 13 図 急速励磁装置主要機結線図  
 Fig. 13. Principal Machine Connection Diagram of Quick Excitation

るのに費やされる。こゝでは簡単のため電動機を無負荷とする。

加速電流が  $I_M(t)$  のとき、電動機の加速度  $a(t)$  は次のようになる。

$$a(t) = \frac{d\omega(t)}{dt} = \frac{\zeta\phi_0}{\text{II}} I_M(t) \dots\dots\dots (2.2)$$

こゝに、



$$\tau_{ath} = \frac{Q_0}{I_{Mmax}} \dots\dots\dots (2.9)$$

また、加速電流は  $\tau_{ath}$  秒の間  $I_{Mmax}$  の大きさで流れるから次式であらわされる。

$$I_M(t) = I_{Mmax} \{ H(t) - H(t - \tau_{ath}) \} \dots (2.10)$$

ここに、

$$H(t - \tau) = \begin{cases} 0 & (t < \tau) \\ 1 & (\tau < t) \end{cases} \dots\dots\dots (2.11)$$

$\tau_{ath}$  は理論的に可能な最小の加速時間であるから、これにある係数  $k_\alpha$  を乗じたものが実際に可能な加速時間  $\tau_\alpha$  である。

$$\tau_\alpha = k_\alpha \cdot \tau_{ath} \dots\dots\dots (2.12)$$

$k_\alpha$  は当然 1 よりも大となるが、これが 1 に近いものほどよい制御系であるといえる。

第14図より発電機電圧  $E_G(t)$  と加速電流  $I_M(t)$  の間には

$$\frac{I_M(t)}{E_G(t)} = \frac{1/R}{1 + (\zeta\phi_0)^2/R\Theta p} = \frac{(1/R) T_M p}{1 + T_M p} \dots\dots\dots (2.13)$$

ここに、

$T_M = R\Theta / (\zeta\phi_0)^2$  (Sec) で電動機の機械的時定数といわれる値である。電動機の基準速度を  $\omega_0$  (rad/sec) としそのときの逆起電力を (定格逆起電力)  $E_{M0}$  (V) とすれば  $\zeta\phi_0 = E_{M0} / \omega_0$  となるので  $T_M = R\Theta \omega_0^2 / E_{M0}^2$

なる関係があるから、 $k_\alpha = 1$  の理想的な場合には発電機電圧はつぎのような変化をせねばならぬ。

$$E_G(t) = R I_{Mmax} \left( \frac{1 + T_M p}{T_M p} \right) \{ H(t) - H(t - \tau_{ath}) \} \dots\dots\dots (2.14)$$

これを図示すると第16図となる。

ところで、励磁機電圧  $E_{ex}(t)$  と発電機電圧  $E_G(t)$  の間には (2.4) 式に示す関係があるので、かかる電圧をうるためには励磁機の電圧が

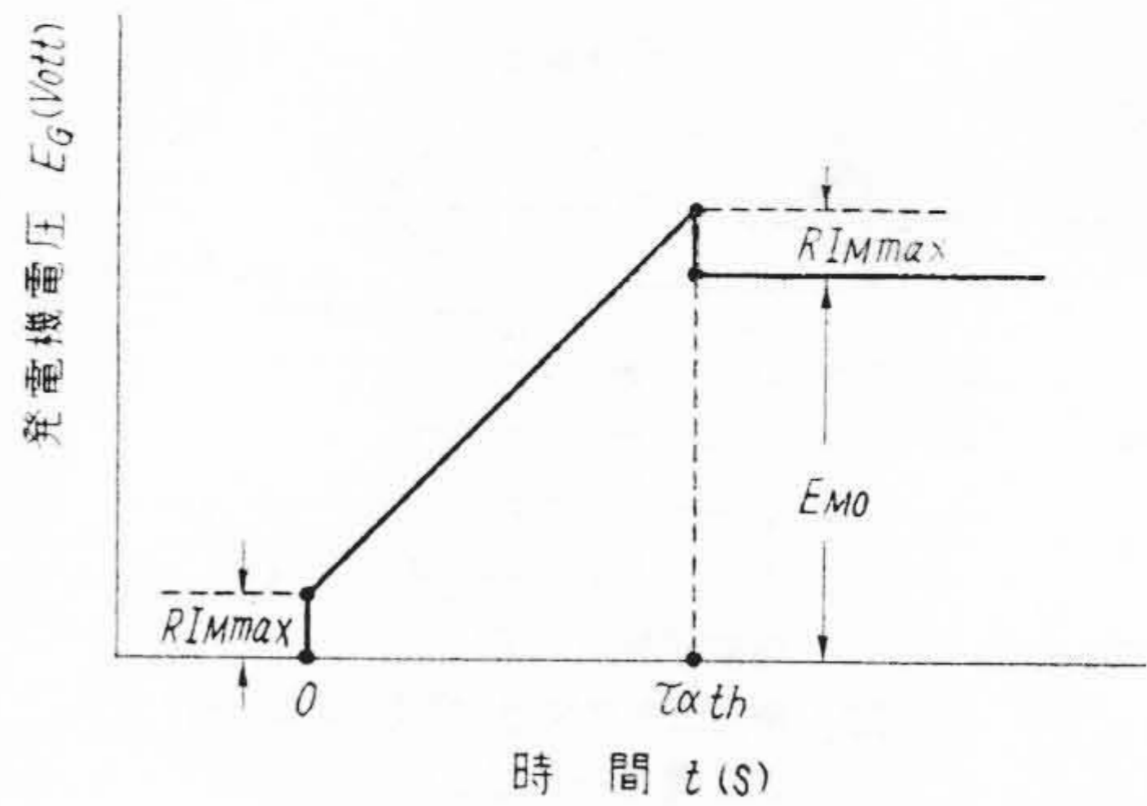
$$E_{ex}(t) = \left( \frac{1 + T_G p}{A_G} \right) E_G(t) = \frac{R I_{Mmax}}{A_G} \left( 1 + \frac{T_G}{T_M} + \frac{1}{T_M p} + T_G p \right) \{ H(t) - H(t - \tau_{ath}) \} \dots\dots\dots (2.15)$$

となる必要があるが、この式を図示すれば第17図となり、このような電圧を励磁機がだすのはもちろん不可能である。すなわち、発電機の電圧が理想曲線にしたがうことは実現できず、 $k_\alpha = 1$  の場合は存在しない。

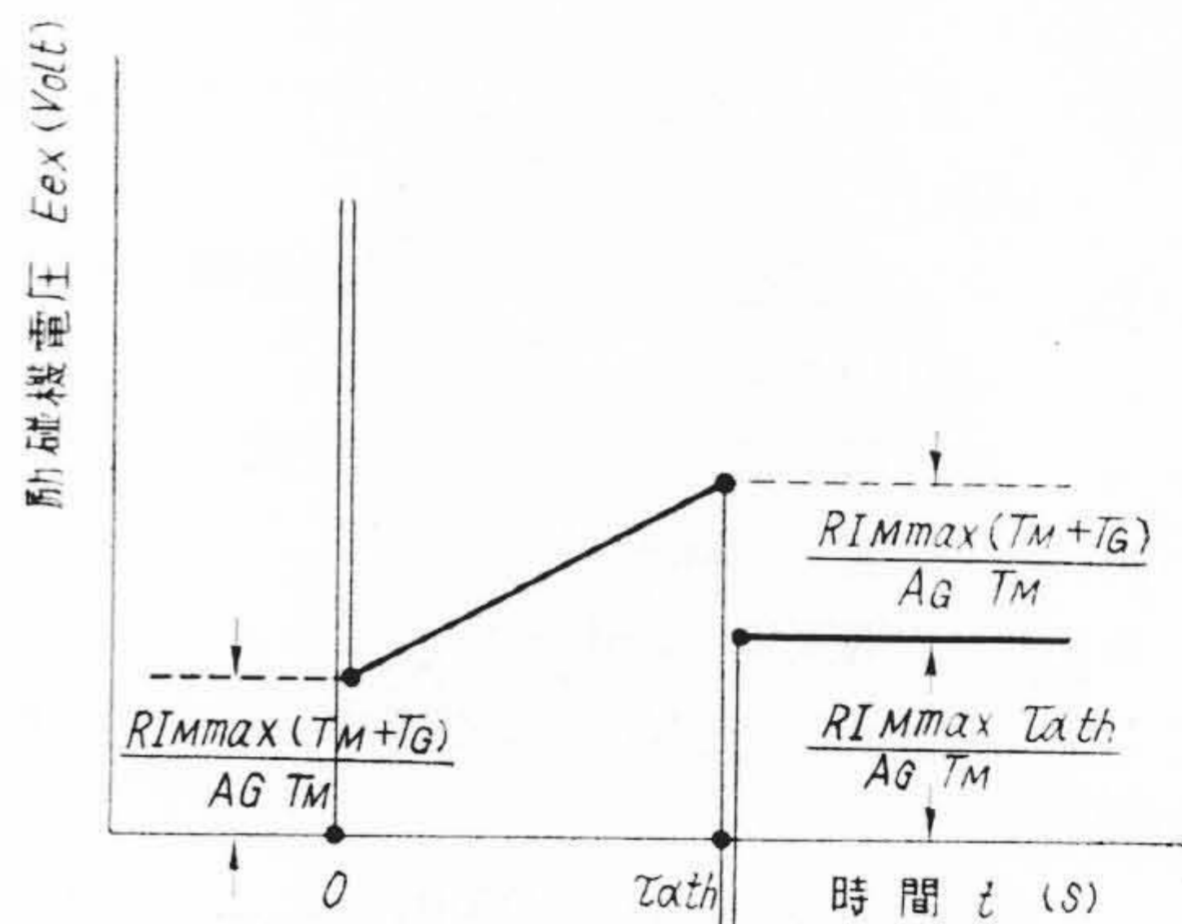
(2) 発電機の電圧上昇が直線的の場合

発電機の電圧上昇が第16図の理想曲線にしたがうことは実現できないゆえ、理想曲線に近いものとして第18図のように電圧上昇が直線的の場合を考える。

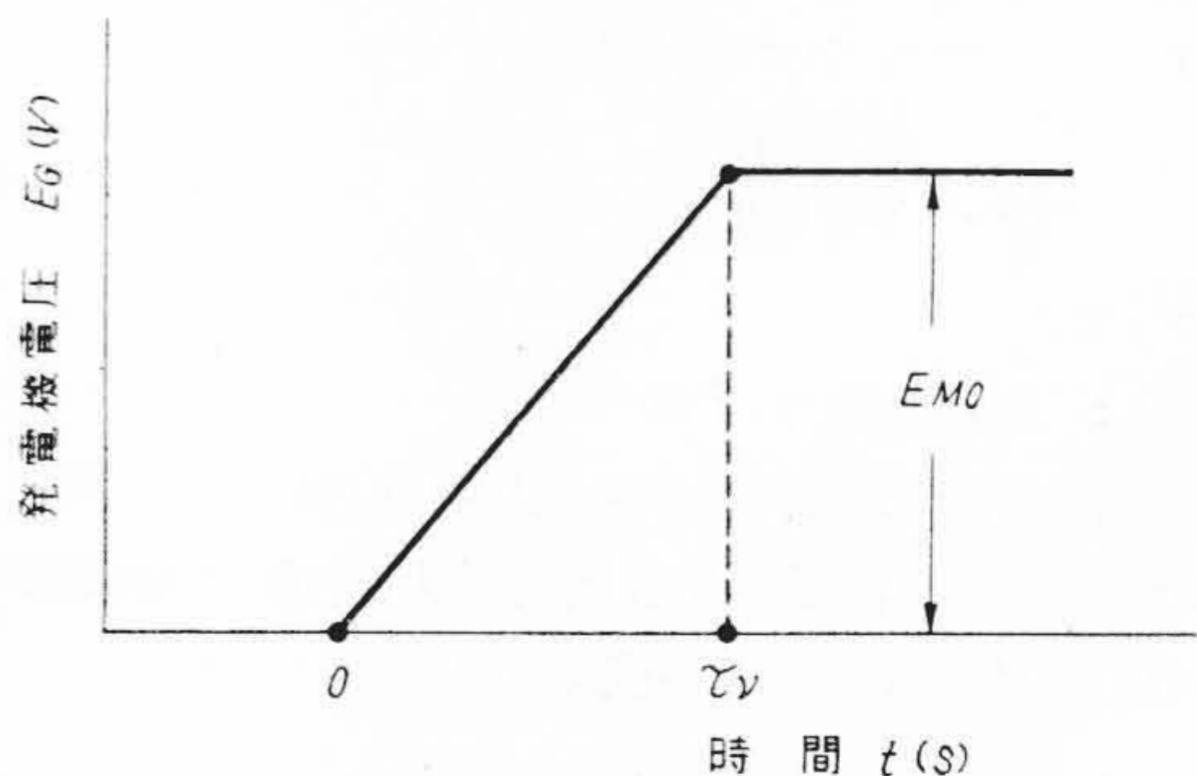
この曲線はつぎの式であらわされる。



第 16 図 発電機電圧の理想の上昇曲線  
Fig. 16. Ideal Build-Up Curve of Generator Voltage



第 17 図 急速励磁制御のための理想的励磁機電圧曲線  
Fig. 17. Ideal Voltage Curve of Exciter for Quick Excitation Control System



第 18 図 発電機電圧の直線上昇曲線  
Fig. 18. Linearly Build-Up Curve of Generator Voltage

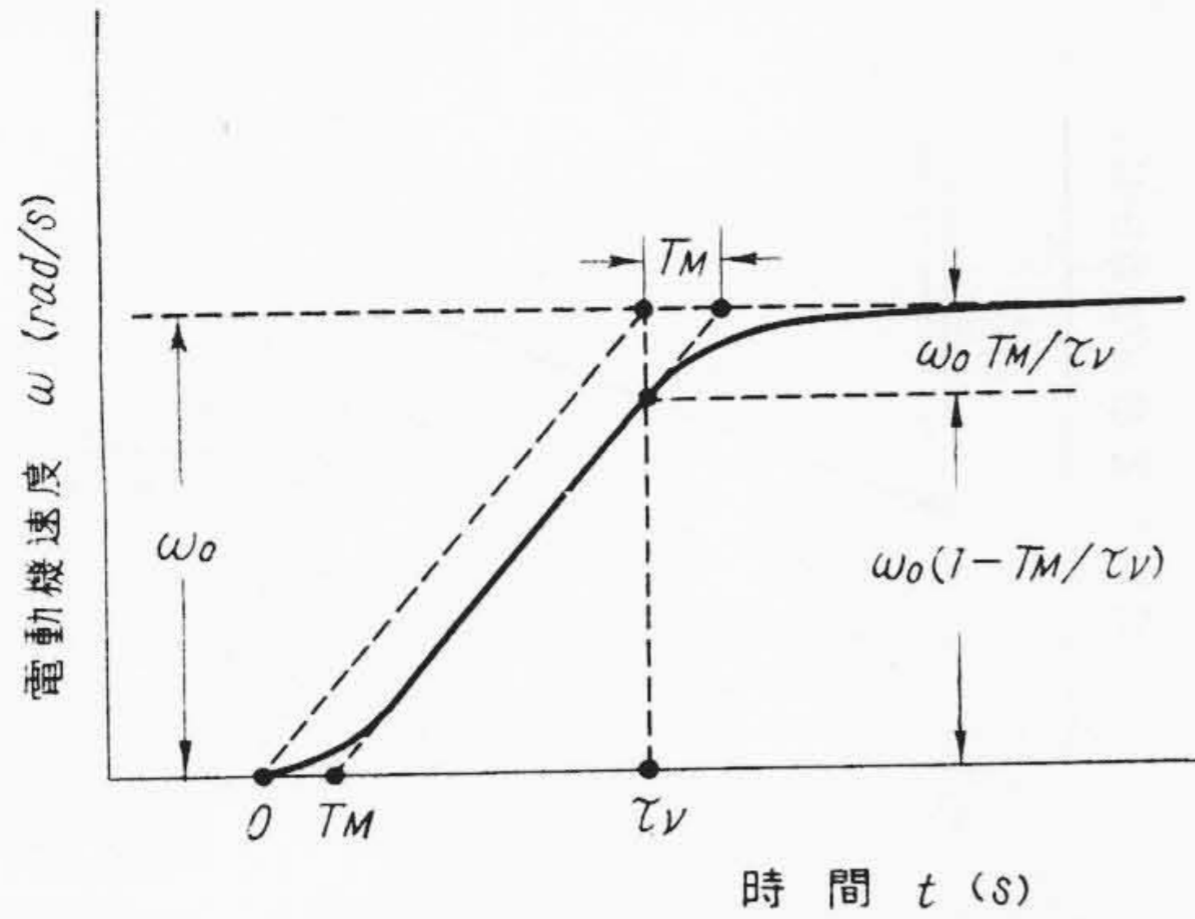
$$E_G(t) = \left( \frac{E_{M0}}{\tau_v} \right) \frac{1}{p} \{ H(t) - H(t - \tau_v) \} \dots (2.16)$$

ここに、

$\tau_v$ : 発電機の電圧が零より定格値に達するまでの時間 (sec)

つぎに、この場合、各部の変化がどのようになるか求めてみる。





第19図 発電機電圧が直線上昇したときの主電動機速度曲線  
Fig. 19. Main Motor Speed Curve When Generator Voltage Builds up Linearly

(a) 電動機速度上昇

第14図より発電機電圧  $E_G(t)$  と電動機速度  $\omega(t)$  の間につきの関係がえられる。

$$\frac{\omega}{E_G} = \frac{1/\zeta\phi_0}{1+T_M p} \dots\dots\dots (2.17)$$

ここに、

$$T_M = R\mathbb{H}/(\zeta\phi_0)^2 \text{ (sec)}$$

したがって、発電機の電圧変化が(2.16)式であらわされるとき、電動機速度変化はつぎのようになる。

$$\omega(t) = \left(\frac{\omega_0}{\tau_v}\right) \frac{1}{p} \left(\frac{1}{1+T_M p}\right) \{H(t) - H(t-\tau_v)\} \dots\dots\dots (2.18)$$

これを図示すれば第19図となる。 $T_M$  が  $\tau_v$  に比しいちじるしく小さいときは近似的に電動機速度上昇が一定の傾斜となり理想的な場合になる。

(b) 電動機加速電流  $I_M(t)$

発電機電圧  $E_G(t)$  と電動機加速電流  $I_M(t)$  の間には(2.13)式の関係があるから電動機加速電流  $I_M(t)$  は

$$I_M(t) = \left(\frac{E_{M0} T_M}{R \tau_v}\right) \frac{T_M p}{p(1+T_M p)} \{H(t) - H(t-\tau_v)\} \dots\dots\dots (2.19)$$

となり、これを図示すると第20図となる。 $T_M$  が  $\tau_v$  に比し十分小さければ短形電流に近くなる。

第20図から明らかなように

$$I_M(t) \leq (E_{M0}/R) (T_M/\tau_v) \equiv I_0 \dots\dots\dots (2.20)$$

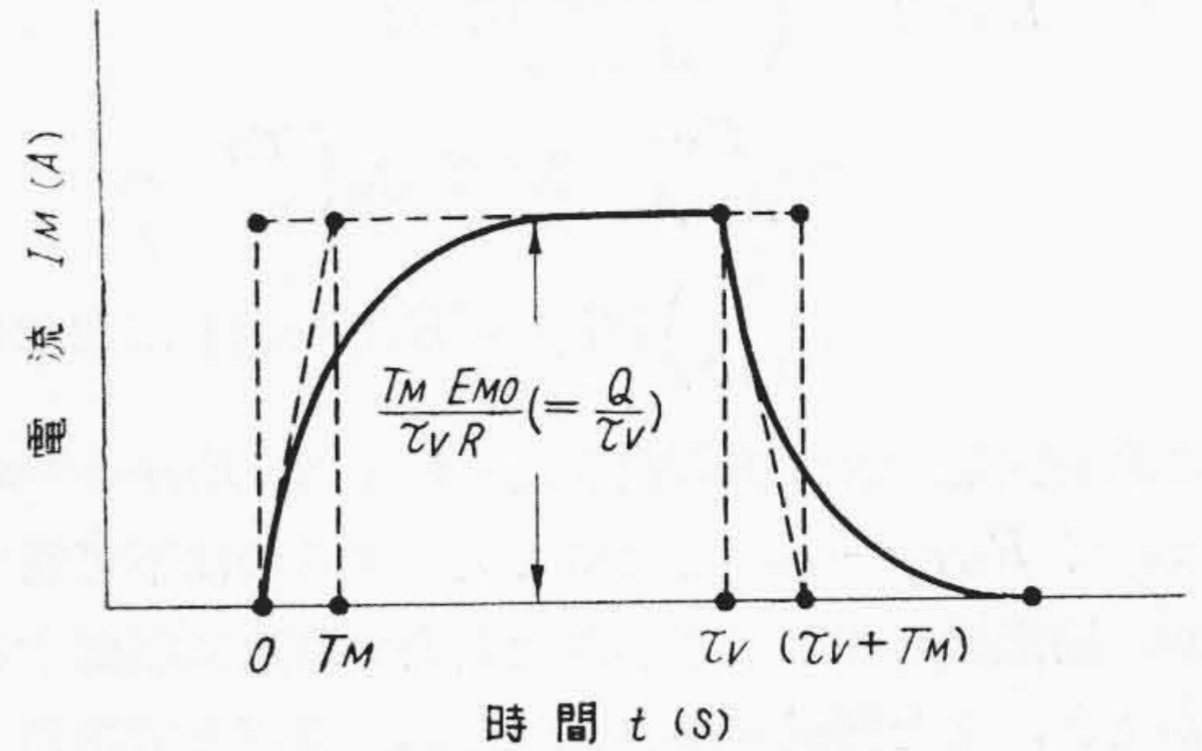
なる関係がえられるので、 $I_0$  を許容最大加速電流  $I_{Mmax}$  にひとしくするのが理想的である。それには、電圧上昇時間  $\tau_v$  を

$$\tau_v = (E_{M0}/R I_{Mmax}) T_M = \tau_{ath} \dots\dots\dots (2.21)$$

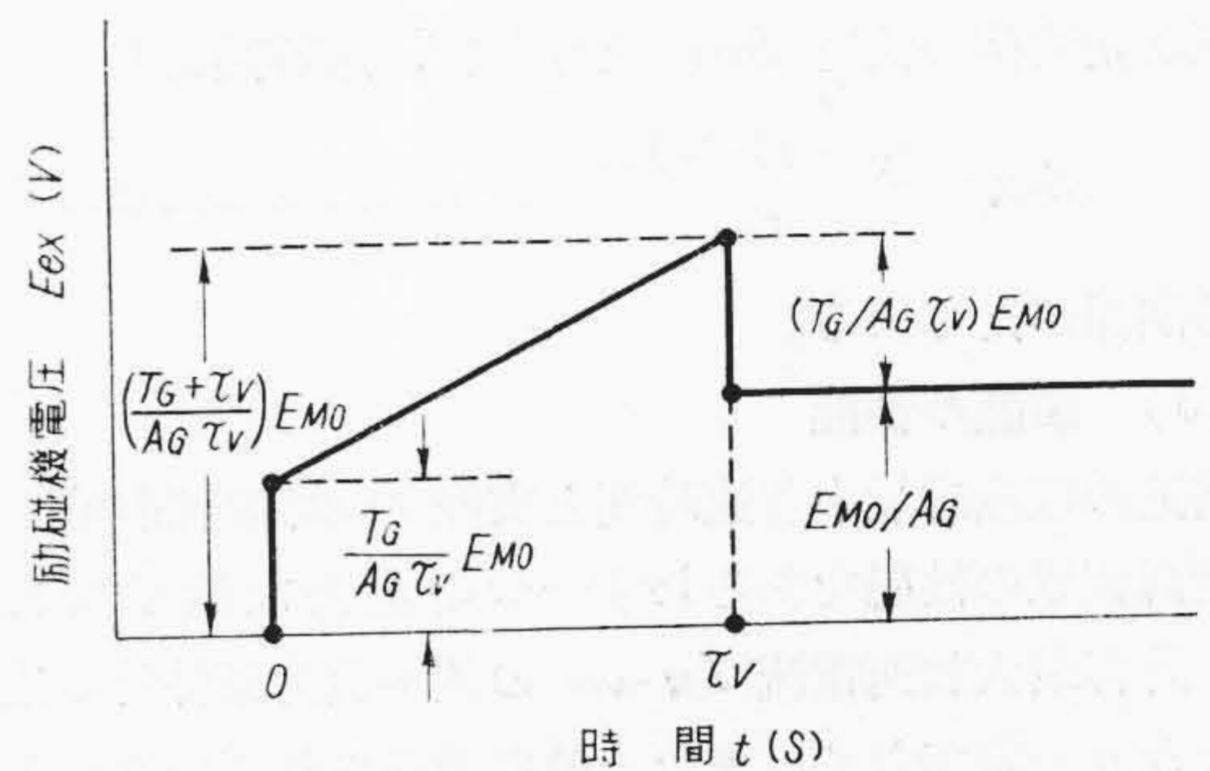
にしなければならない。

(c) 励磁機の電圧変化

励磁機電圧を  $E_{ex}(t)$  とすれば



第20図 発電機電圧が直線的に上昇したときの主電動機加速電流  
Fig. 20. Accelerating Current of Main Motor When Generator Voltage Builds up Linearly



第21図 発電機電圧が直線的に上昇したときの励磁機電圧波形  
Fig. 21. Exciter Voltage Curve When Generator Voltage Builds up Linearly

$$E_{ex}(t) = \left(\frac{1+T_G p}{A_G}\right) E_G(t) = \frac{E_{M0}}{A_G} \left(\frac{T_G}{\tau_v} + \frac{1}{\tau_v p}\right) \{H(t) - H(t-\tau_v)\} \dots\dots\dots (2.22)$$

これを図示すると第21図となる。これより  $E_{ex}(t)$  の最大値と定常値の比を  $S_{ex}$  とすると

$$S_{ex} = \frac{T_G + \tau_v}{\tau_v} \dots\dots\dots (2.23)$$

なる関係がえられる。よつて、励磁機は定常値の  $S_{ex}$  倍の電圧をだすことが必要で、この電圧まで飽和しないように設計しなければならない。

(d) HTD の電圧変化

増幅発電機 HTD の電圧と励磁機電圧の間には第15図に示すように

$$\frac{E_{ex}(t)}{E_{HT}(t)} = \frac{A_{ex}}{1+T_{ex} p}$$

なる関係があるから、励磁機電圧が(2.22)式に示すような変化をするためには、HTD電圧はつぎのように変化せねばならない。

$$\begin{aligned}
 E_{HT}(t) &= \left( \frac{1+T_{ex}p}{A_{ex}} \right) E_{ex}(t) \\
 &= \frac{E_{M0}}{A_G A_{ex}} (1+T_{ex}p) \left( \frac{T_G}{\tau_v} \right. \\
 &\quad \left. + \frac{1}{\tau_v p} \right) \{ H(t) - H(t-\tau_v) \} \dots (2.24)
 \end{aligned}$$

これを図示すれば第22図となり  $t=0$  で  $E_{HT} = +\infty$ ,  $t=\tau_v$  で  $E_{HT} = -\infty$  となつて実現するのは不可能であるが、励磁機とことなり小さな電力で急速に制御することができ、また機械が小さいから高い電圧まで飽和しないようなものを作ることができるので、近似的に実現しうる。

なお、この目的に用いる HTD は少なくとも第二のピーク電圧を十分にだすものが必要である。第二のピーク電圧と定常値の比を  $S_{HT}$  とすれば、第22図より

$$S_{HT} = \frac{\tau_v + T_G + T_{ex}}{\tau_v} \dots (2.25)$$

なる関係がえられる。

(3) 装置の性能

前述の理論的最小加速時間と実際の加速時間の比  $k_a$  は制御装置の性能をあらわす一つの重要な因子であるが、許容最大加速電流  $I_{Mmax}$  の値が負荷条件その他でことなり一定でなく、また一般に明示されていないので求めることが困難である。

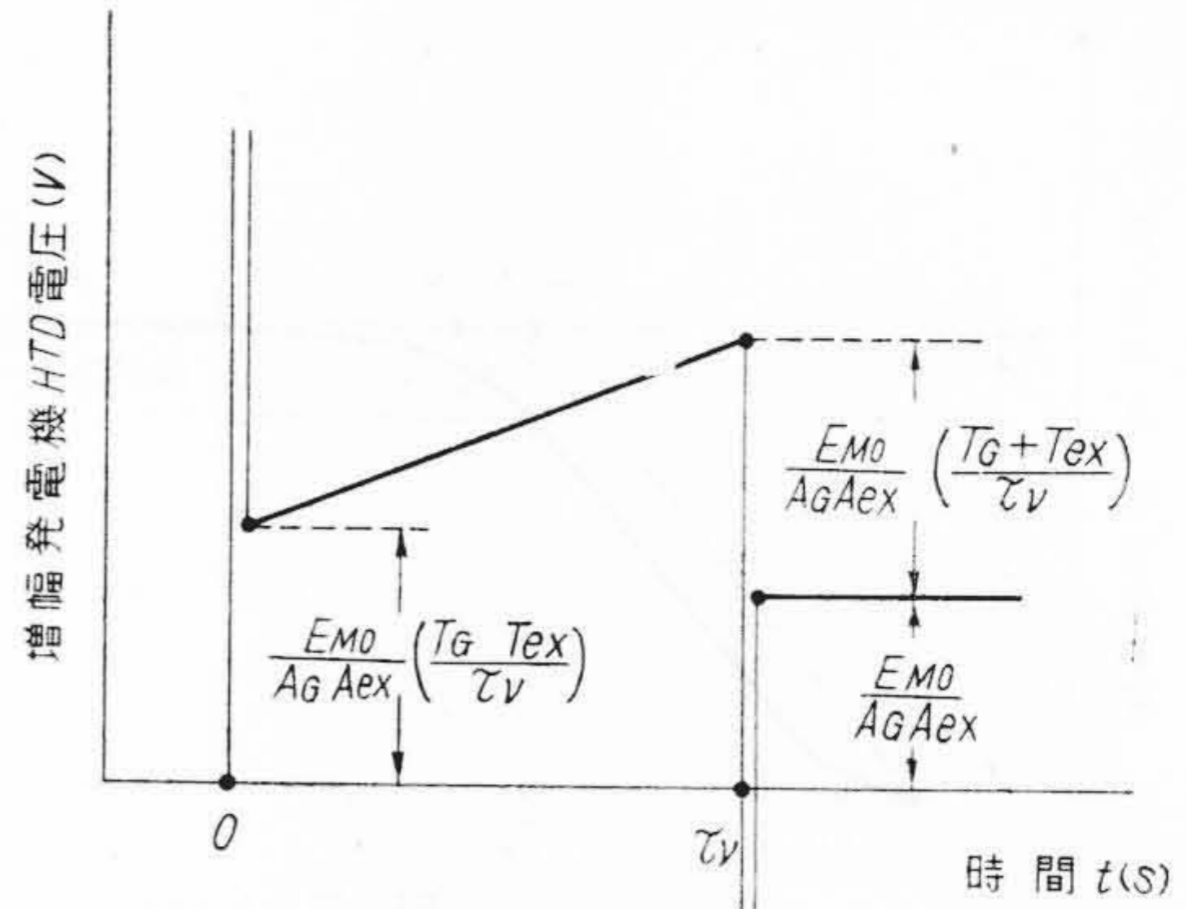
そのため、 $I_{Mmax}$  の代わりに実際に流れた加速電流の最大値  $I_{M\alpha}$  を使用して理論的加速時間  $\tau_{\alpha th}$  を求め、この時間と実際の加速時間との比をとることが考えられる。

この比は加速電流波形に関係した値になり  $k_{\omega\alpha}$  としてあらわすことにする。しかし、この値だけで性能を比較するのはもちろん不合理である。なぜなら、 $k_{\omega\alpha}$  を良くしても  $I_{M\alpha}$  が小さいときは加速時間が長くなるからである。すなわち、一般に加速時間が長くなれば前に示した HTD 電圧波形と励磁機電圧波形を実現するのが容易になり  $k_{\omega\alpha}$  をよくすることができる。

すなわち、制御系の性能の比較には波形に関する量  $k_{\omega\alpha}$  と加速時間  $\tau_\omega$  の両者を比較するのがもつとも合理的であり、従来からもこのように加速電流が矩形波で加速時間の短いものがよいとされている。

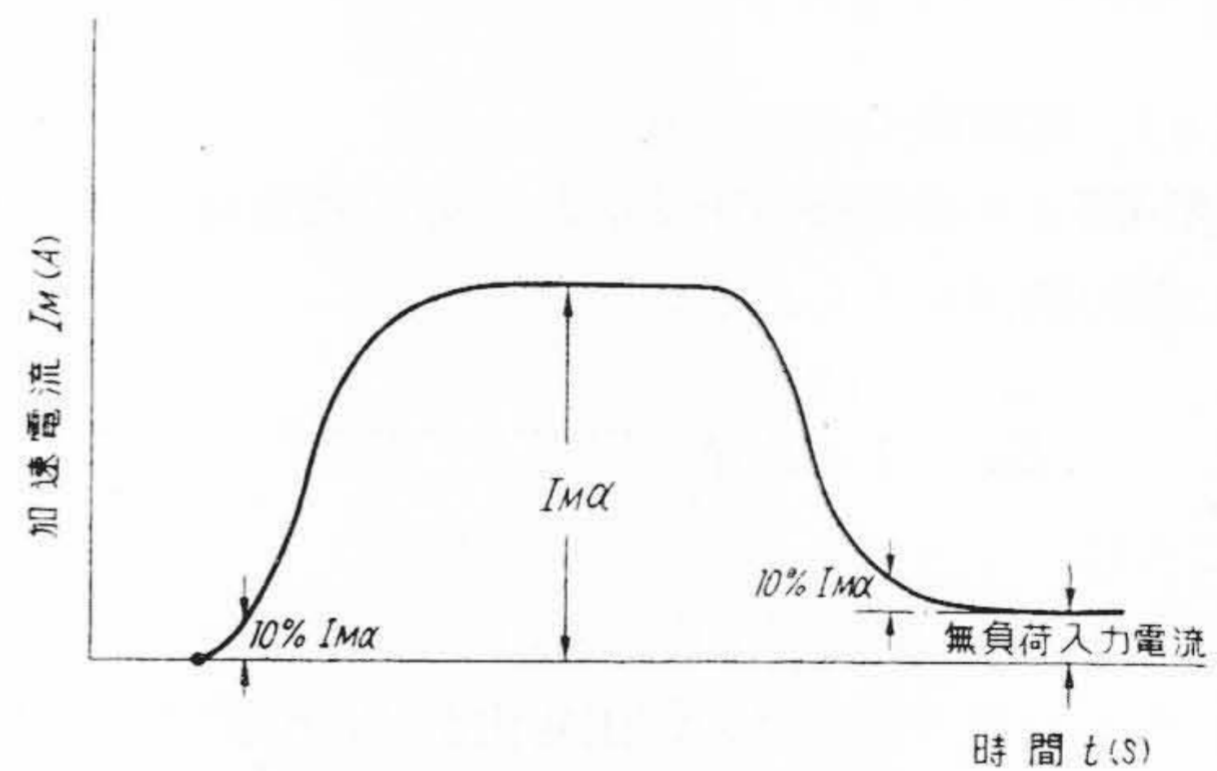
ところで、発電機電圧を直線上昇させたとき理論的には電動機速度が定常値に達するまで無限大の時間を要する。実際問題として速度がある程度に達すれば定常値に達したと見なすこともできるので、電動機の加減速時間のとり方につき従来の発表は各種各様で、はなはだしいときは時間のとり方により 1.5 倍の開きが生じていることも見受けられる。

それゆえ、この加速時間のとり方には一つの規約を設けておかぬと比較ができない。ところで従来は第23図に



第 22 図 発電機電圧が直線的に上昇したときの HTD 電圧曲線

Fig. 22. HTD Voltage Curve When Generator Voltage Builds up Linearly



第 23 図 加速時間  $\tau_\alpha$  の決定

Fig. 23. Determination of Acceleration Time  $\tau_\alpha$

示すように、加速始めの点および終りの点と考えている場所は加速電流が最大値のほぼ 10% 以下になっているのが多いため、こゝではそのようにとる。加速電流が行きすぎて振動を起したときは、その振動が収斂して 10% になったところまでとする。

$k_{\omega\alpha}$  は 1 に、 $\tau_\alpha$  は零に近いものほどよいが、 $\tau_\alpha$  を小さくしようとすると加速電流が尖頭的な過電流となつて  $k_{\omega\alpha}$  が大きくなりやすい。したがつて、性能係数  $m$  として

$$m = (k_{\omega\alpha} - 1) \cdot \tau_\alpha \dots (2.26)$$

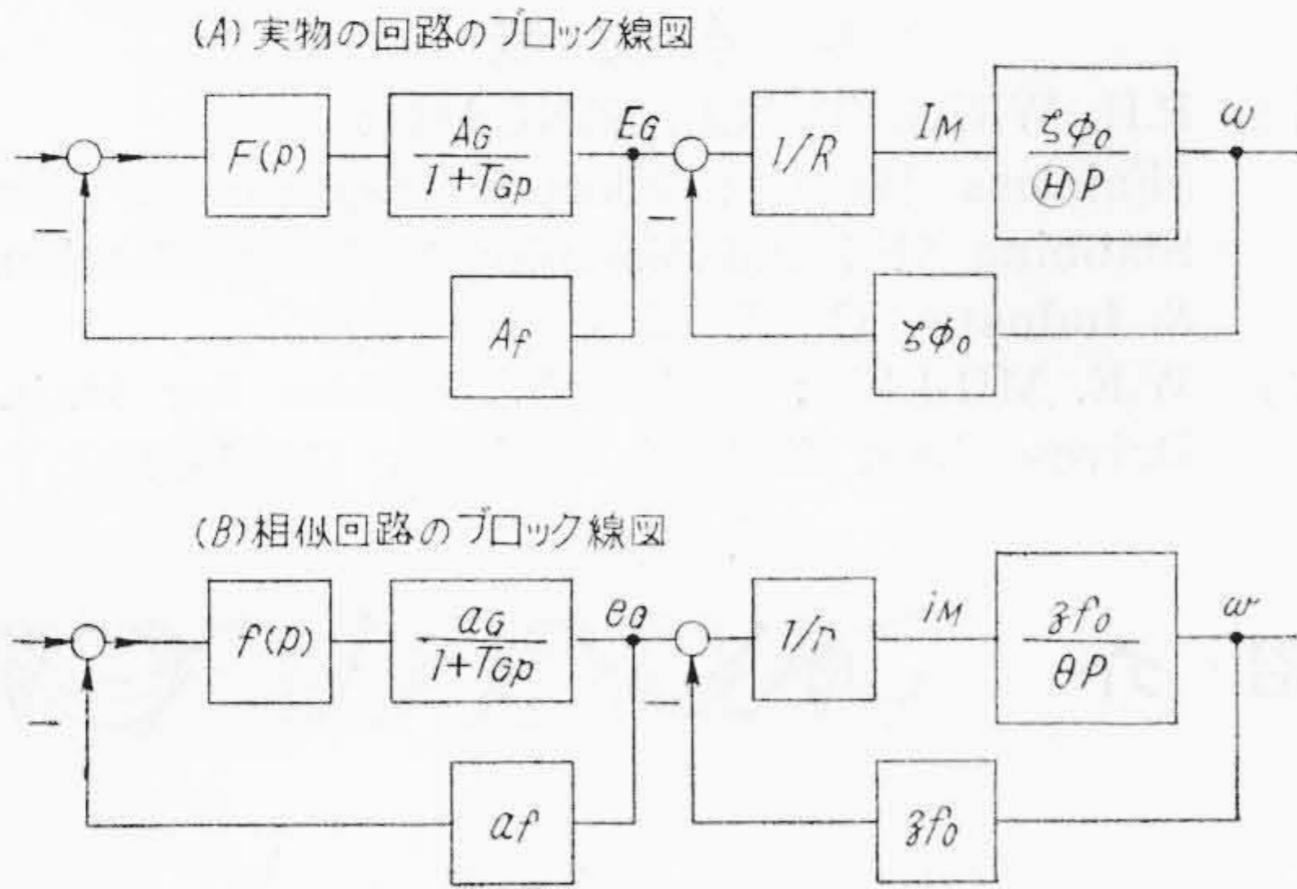
をとつて比較するのも一つの方法であろう。

〔III〕 実験および検討

(1) 実 験

10,000 HP 級圧延機用イルグナ装置と伝達函数を大体ひとしくして行つた実験結果が第15図(第1編)である。

伝達函数がひとしければ、その結果が実際のものにひとしいと考えて差支えない。アナログ電気演算器はこの考えにたつてできている。



第24図 実際の回路と相似回路のブロック線図

記号説明  $F(p), f(p)$ : 励磁機までの伝達函数  
 $A_G, a_G$ : 発電機電圧増巾率  $T_G$ : 発電機界磁時定数(sec)  
 $R, r$ : 電機子回路抵抗( $\Omega$ )  $E_G, e_G$ : 発電機電圧(V)  
 $A_f, a_f$ : 饋還回路増巾率  $\zeta\phi_0, z\phi_0$ : 単位回転速度当り発生する電動機逆起電力(Volt·sec)  
 $I_M, i_M$ : 電動機加速電流(A)  $\theta, \theta$ : 慣性能率(kg·m<sup>2</sup>)  
 $\omega, w$ : 回転速度(rad/sec)

Fig. 24. Block Diagram of Actual Circuit and IFS Model Circuit

この実験では励磁機までの装置に実物と大体同じ程度のもので使用したので、励磁機までの伝達函数は容易にあわせることができるが、主発電機と主電動機は実物の1/50(すなわち200HP)で簡単にはゆかないのでつぎのようにした。実物のブロック線図と相似回路のブロック線図とを第24図に示す。こゝで両者の励磁機までの伝達函数  $F(p)$  と  $f(p)$  とはひとしい。すなわち、

$$F(p) = f(p) \dots\dots\dots (2.27)$$

発電機より後は、まず、両発電機の界磁時定数をあわせ、つぎに

$$A_G \cdot A_f = a_G \cdot a_f \dots\dots\dots (2.28)$$

こゝに、

$A_f$ : 実物の饋還回路増巾率

$a_f$ : 相似回路の饋還回路増巾率

とした。かくすれば、急速励磁制御系で発電機電圧の絶対値のみが実物の  $1/(A_G/a_G)$  になるだけで、その動作は全く同じである。この換算係数を  $C_{EG}$  とすれば

$$C_{EG} = A_G/a_G \dots\dots\dots (2.29)$$

つぎに、

$$\frac{(\zeta\phi_0)^2}{R\theta} = \frac{(z\phi_0)^2}{r\theta} \dots\dots\dots (2.30)$$

こゝに

$z\phi_0$ : 相似電動機の単位回転速度当り発生する逆起電力(Volt·sec)

$r$ : 相似回路の電機子回路抵抗( $\Omega$ )

$\theta$ : 相似電動機の慣性能率(kg·m<sup>2</sup>)である。

かくすれば、第24図右側の閉回路の積分時間(積分時間とは  $1/Tp$  であらわされたときの  $T$  をいう。)がひとしくなるので各部の変化の様はその絶対値がことなるのみで同じになる。その絶対値の換算係数はつぎのようになる。

加速電流については

$$C_{IM} = I_M/i_M = (r/R) (A_G/a_G) \dots\dots\dots (2.31)$$

こゝに、

$i_M$ : 相似回路の加速電流

速度については

$$C_w = \omega/w = (z\phi_0/\zeta\phi_0) (A_G/a_G) \dots\dots\dots (2.32)$$

こゝに、

$w$ : 相似回路の電動機角速度(rad/sec)

となる。

なお、このような技巧はアナログ演算器でしばしば行なわれていることであるが、容量の大きな実験装置としては例の少ないものと思う。

(2) 検 討

第24図のオシログラムより前章にのべた方法によつて逆転時の  $k_{\omega\alpha}$ ,  $\tau_\alpha$  を求めてみると

$$k_{\omega\alpha} = 1.25$$

$$\tau_\alpha = 0.84 \text{ sec}$$

となる。これと従来発表されている結果と比較すれば第1表となり、この結果のすぐれていることが知られる。

このような結果のえられた大きな原因は非線型回路要素、制動変圧器などの利用によりHTDの界磁に特殊な入力を与え、その出力電圧波形をオシログラムにもみられるような理想曲線に近いものにしたからである。

[IV] 結 言

急速励磁装置の理論および日立研究所電動力応用実験室で行つた実験結果の一例を示した。

第1表 二三の装置の結果の比較  
 Table 1. Comparison of Results of Several Equipments

	加速時間		電 流 波 形				m	備 考
	公 称	$\tau_\alpha$	$Q_0$	$I_M^\alpha$	$\tau_\alpha'_{th}$	$k\omega\alpha$		
A	1.3	1.6	2,950	3,450	0.86	2.2	1.92	3,500HP×2 日本
B		1.4	3,400	4,550	0.95	1.9	1.25	3,500HP×2 日本
C	0.9	1.1	—	—	0.73	1.5	0.55	3,500kW×1 日本
D	1.5	1.4	910	1,300	0.70	2.0	1.4	600kW 日本
E		1.1	1,500	1,900	0.79	1.3	0.33	4,000HP×2 米国
F	1.0	1.1	1,830	3,000	0.61	1.8	0.88	12,000HP 米国
日立研究所	0.48	0.48	355	535	0.67	1.25	0.21	10,000HP 日本相当

(備考: +基準速度より-基準速度まで変化した場合)

この実験は 10,000 HP 級の装置と相似に行つたもので、その結果は実機と同じであると考えられるものであり、逆転時の加速時間が 0.84 sec,  $k_{\omega\alpha}$  が 1.25 となり従来発表されたものに比し相当すぐれた結果であるといえる。

参考文献

- (1) R.H. WRIGHT, N.L. KINCAID: 「Fairless Works: Electric Equipment for Slabbing Mill and Blooming Mill」 Application & Industry C.A.L.E.E. (1954-7)
- (2) W.E. MILLER: 「Electric System for Main Drives」 Iron & Steel Engineer (1954-7)



新案の紹介



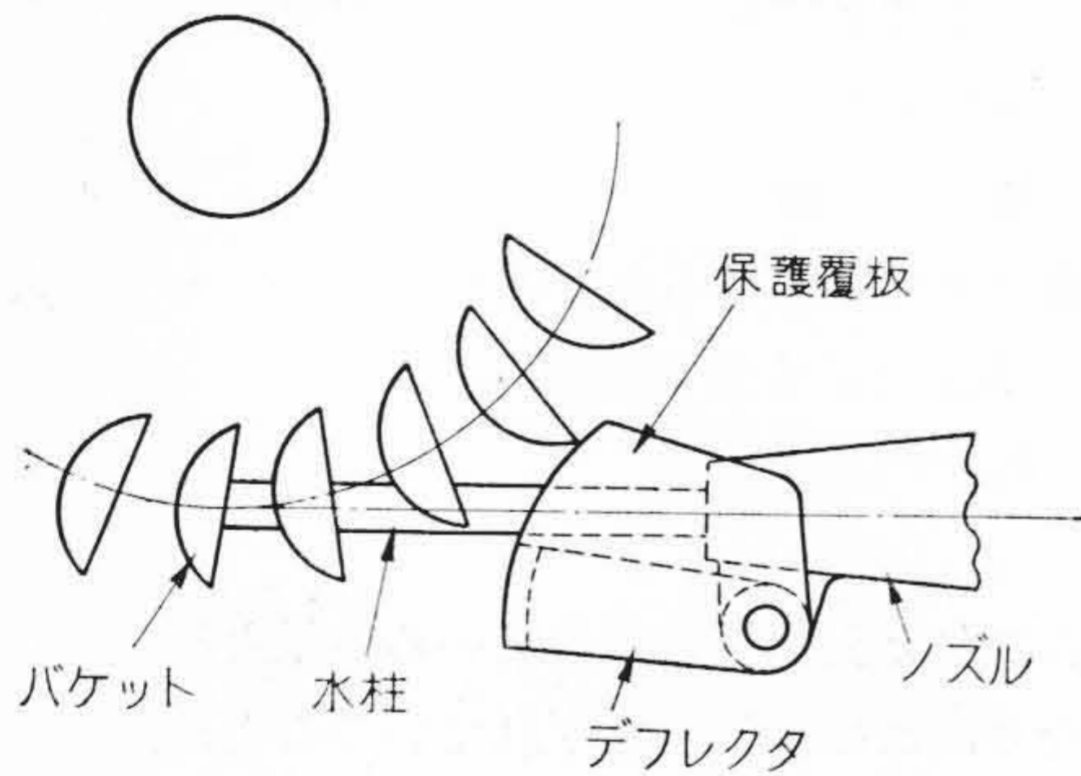
実用新案 第 437944 号

小森谷 亨・田中重三  
井原一男

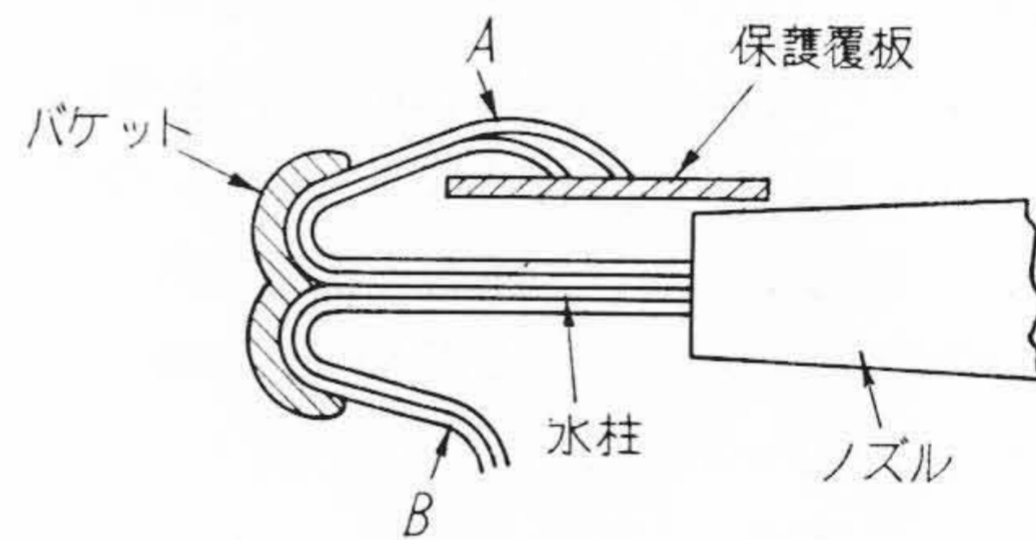
縦軸ペルトン水車

縦軸ペルトン水車の運転中ノズルより噴射する水柱はバケットに衝突して第2図に A, B で示すように上下方向に分岐して排棄される。そして上方に分岐した排棄水 A はその落下に際し水柱を横切ることとなり、水柱の効率を低下する嫌いがある。

この考案は前記の欠点を除去するため、デフレクタと一体に構成され、常時水柱の上部を覆う保護覆板を設けたことを特長とするものである。この構造によれば保護覆板は第2図に示すように、前記排棄水 A を受け、この排棄水が水柱を横切つて落下する現象を除去することができ、水車の効率を向上しえたものである。(滑川)



第1図



第2図

Vol. 38 日立評論 No. 10

目次

- ◎サイクロンスチームセパレータについて
- ◎逆転式熱間圧延機電気設備の自動制御〔1〕
- ◎日立 800 mm ホブ盤について
- ◎油冷式多翼型回転圧縮機について
- ◎日立 GSA-6 型戸ジメ機械について
- ◎車輛における点熔接の活用
- ◎ストロージャスイッチの改良 (その2)
- ◎送信用真空管静特性直視測定装置
- ◎酸化物陰極のスパーク発生機構について
- ◎伸線用WCダイスの放電加工
- ◎フェノールノボラックの加熱量特性
- ◎12% Cr 系耐熱鋼の熱処理硬度および高温機械的性質におよぼす W, V, Ti および Mo+V+Nb の影響
- ◎低合金鋳物鋼の研究 (第2報)

誌代 1カ月 ¥100 (〒12)  
東京都千代田区丸の内1ノ4 (新丸ビル7階)

日立評論社

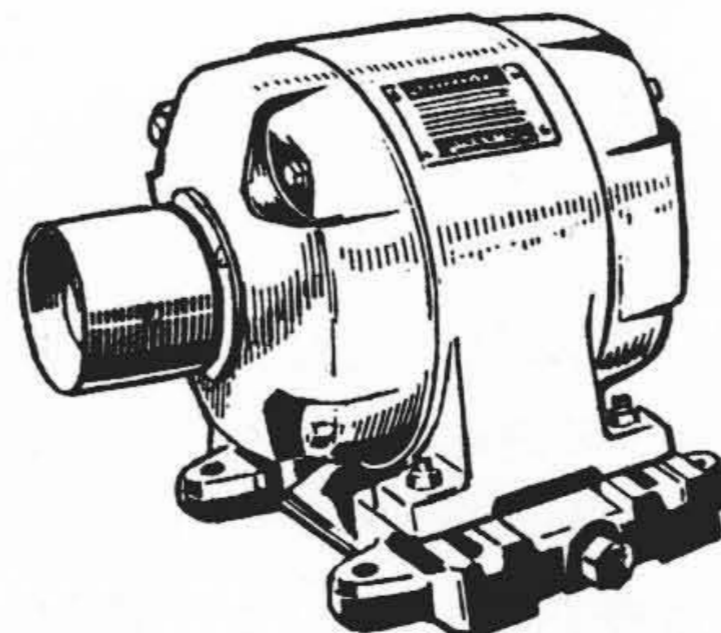
日立モートルの評判は

どこへ行つても絶対です。



日立モートルは各方面に於ける愛用者の方々へのゆきとどいたサービスと共に独特の一貫作業により安心して使つて頂ける力の強いそして寿命の永い優秀品であります

日立モートルの生産高と販売高がモートル界の第一位にある事によつてもその評判はわかりでしょう



日立製作所